

GETFLOWS を用いた武蔵野台地の水循環に与える地下水揚水の影響評価

首都大学東京	都市環境科学研究科	学生員	○大崎	友輔
東京都	建設局	正会員	石原	成幸
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村	明
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口	英雄
株式会社	地圏環境テクノロジー	正会員	才田	進
株式会社	地圏環境テクノロジー	非会員	多田	和広
株式会社	地圏環境テクノロジー	非会員	田原	康博

1. 序論

武蔵野台地に存在する野川・残堀川といった都市中小河川では、少雨期に表流水が無くなる水涸れ現象が発生している¹⁾。この原因の一つとして、周辺地域での上水道水源を目的とした揚水(以下「水道揚水」と記す)による地下水の過剰な汲み上げの結果地下水位が低下し、これに伴って河川への湧出水が減少していることが指摘されている²⁾。

このため、東京都土木技術支援・人材育成センターでは、水涸れの原因究明や防止策の効果検証を目的とし、2015(平成27)年に武蔵野台地を対象とした水循環解析(以下「武蔵野台地調査」と記す)をとりまとめた³⁾。同調査では陸面を介した地上・地下を一体化した水循環挙動を解明するため、統合型地圏水循環シミュレータ GETFLOWS を用いて解析を行い、対象地域の表流水・地下水を包括した総合的な水循環機構を高い精度で明らかにした。しかしながら、武蔵野台地調査では用途別の揚水量に着目して揚水条件を変化させた解析は行っていない。また、同調査には揚水量等の一部入力値に利用制限のあるデータが用いられており、そのまま解析結果を検証することは出来ない。

そこで本研究では、武蔵野台地調査を基に、全ての入力値に公開データを用いた現況再現ケースを作成し、入力値を一定にした定常解析条件下での地下水位解析結果と実際の地下水位観測値を比較することで、地下水位の再現性を検証した。加えて、水道揚水を全て停止したケースで定常解析を新たに実行し、現況再現ケースの解析結果と比較することで、水道揚水が地下水位へ与える影響を定量的に検証し、その原因と河川の水涸れへの緩和効果について考察を行った。

2. 解析概要および手法について

(1) 解析領域の概要

図-1 に、表土を除いた三次元水理地質構造モデルを示す。本研究では、入間川・荒川・多摩川に囲まれた 2,000km² の範囲を解析領域とし、表層情報から地下地質構造までを一体に反映した武蔵野台地モデルを作成した。表層の情報について、標高は国土院地質基盤図情報⁴⁾および東京都の各河川整備計画⁵⁾から作成し、表層におけるマニングの粗度係数は国土数値情報⁴⁾の土地利用から反映した。そして地下地質構造は東京都の地盤ボーリングデータ⁶⁾と解析領域の地盤分野論文^{6)・8)}等を基に設定し、地下水位や河川流量との整合性を確保したうえで間隙率と透水係数を決定した。浅層は主に沖積砂礫層・ローム層など比較的透水性の高い地質が、深層は含人層・北多摩層など比較的透水性の低い地質が広域に分布している。

モデル化した武蔵野台地を流れる河川では湧出水の減少が報告されており、特に台地南部に存在する野川・仙川・残堀川・空堀川の一部では平時に表流水が無い水涸れ状態が続いている¹⁾。そこで、これら河川の湧出高や河川域の表流水深を可視化することで、水道揚水が河川の水涸れへ与える影響について解明を試みた。

(2) 入力に用いたデータ

①有効降水量

図-2 に、有効降水量分布を示す。降水量・気温データは、1981(昭和56)～2010(平成22)年の30箇年平年値より1kmメッシュの空間分布データを使用した⁹⁾。これらのデータを用いてメッシュごとにハーモン式に基づく可能蒸発散量を算出し、降水量から可能蒸発散量を差し引いた有効降水量を、定常の降水入力値に採用した。

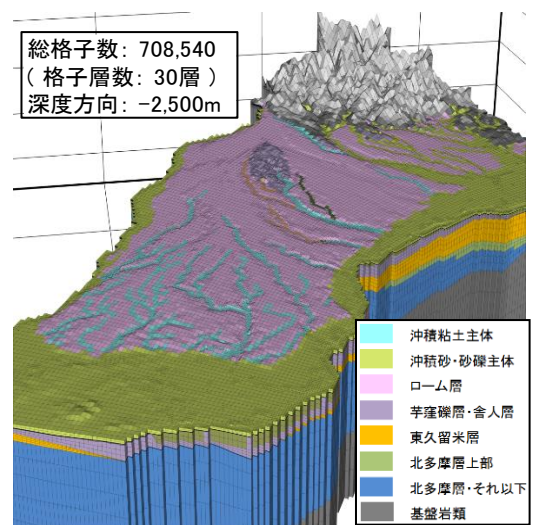


図-1 武蔵野台地モデル(表土除く)

キーワード 武蔵野台地, 河川の水涸れ, GETFLOWS, 地下水位, 揚水量

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail: osaki-yusuke@ed.tmu.ac.jp

②雨水排水・下水処理場

雨水下水幹線により収集される降水は、地中へ浸透しない損失雨量となる。解析では東京都及び埼玉県の下下水処理区域における降水量の20%が損失雨量となったと仮定し、各メッシュの降水量から差し引いたうえで同じ水量を各下水処理場から放流した^{10),11)}。

③地下水揚水量

表-1に、各ケースの揚水量を抜粋して示す。本研究で用いた揚水量は、東京都環境局と埼玉県環境部による2012(平成24)・2013(平成25)年の自治体別揚水量を各自治体面積で割った値を使用した^{12),13)}。また、地下水の大部分は東京層群および上総層群の砂層・砂礫層中にある被圧帯水層から取水している^{14),15)}ため、揚水は深度100m以深に分布する東京層・東京礫層・高砂層・江戸川層・東久留米層の最上層から自治体毎に一律に取水すると想定してモデル化した。

本研究では、水道揚水が地下水位に与える影響をケースごとに判断するため、自治体別の水道揚水量を求める必要がある。今回、東京都は自治体別の水道揚水量データ¹²⁾を採用し、埼玉県は西部・比企地域の揚水量のうち、水道揚水が占める割合¹³⁾から算出した。表-1に示した通り、現況揚水量を入力値とする『現況再現ケース(A)』と、水道揚水(B)が全停止した場合を想定した『水道揚水停止ケース(A-B)』の2種類の揚水量データを作成し、他の条件を変えずにケースごとに定常解析を行い、出力された地下水位の解析結果を比較した。

(3) 解析手法の概要

解析には、統合型地圏水循環シミュレータであるGETFLOWSを採用した。これは陸域での表流水と地下水を一体的に解析することができ、任意形状の6面体格子を用いて地表地形及び地下地層分布形状を実態に沿って適切にモデル化することが可能なためである。

3. 地下水位の解析結果

(1) 現況再現ケースの解析値と実測値の比較

図-3に、地下水位観測地点を示す。実際に観測された地下水位は、東京都土木技術支援・人材育成センターおよび埼玉県環境部が2012(平成24)・2013(平成25)年に観測した92観測井(東京都70井、埼玉県22井)の観測井ごとの経年平均値を用いた^{16),17)}。

図-4に、現況再現ケースでの解析値と実測値を比較したグラフを示す。現況再現ケースを用いて求められた地下水標高を縦軸、実際に観測された地下水標高を横軸とし、各観測井での値を散布図で表した。同図より、8割以上の観測井で解析値と実測値の差が±10m以内の範囲に収まっており、非常に高い精度で現況の地下水環境を再現することが出来たことが分かる。

(2) 現況再現ケースと水道揚水停止ケースの比較

図-5に、水道揚水の停止により現況から地下水位がどの程度上昇するかを示す。同図より、水道揚水停止によって地下水位が上昇する地域は偏在しており、3m以上上昇する地域は東京都の北多摩地域および西多摩の一部地域に集中していることが分かる。その中でも多摩川沿いの羽村市・福生市・昭島市といった自治体では、平均して20m以上の地下水位上昇が見込まれることが分かった。以後、この地下水位上昇の原因と水涸れ河川や表流水へ与える影響について考察を試みた。

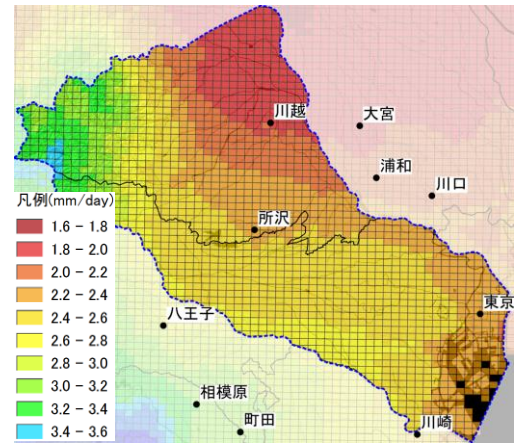


図-2 30箇年の日あたり有効降水量

表-1 入力揚水量(抜粋)

(mm/day)	現況再現ケース(A)	水道揚水(B)	水道揚水停止ケース(A-B)
千代田区	0.141	0.000	0.141
練馬区	0.198	0.042	0.156
立川市	0.590	0.507	0.083
府中市	1.719	0.980	0.739
武蔵野市	3.875	3.494	0.381
羽村市	2.512	1.966	0.546
昭島市	2.300	1.992	0.308
和光市	0.945	0.473	0.472
所沢市	0.220	0.110	0.110
川越市	0.403	0.202	0.201
ふじみ野市	1.386	0.694	0.692
東松山市	0.152	0.116	0.036

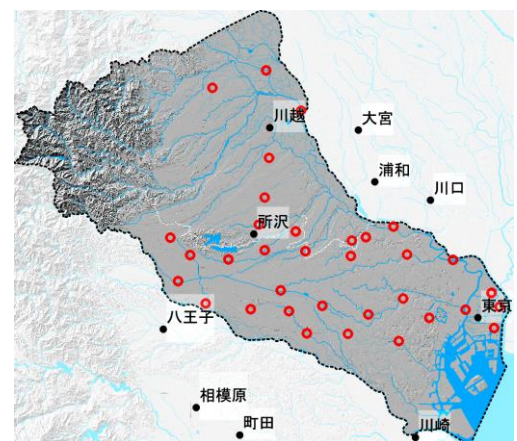


図-3 地下水位観測井の位置

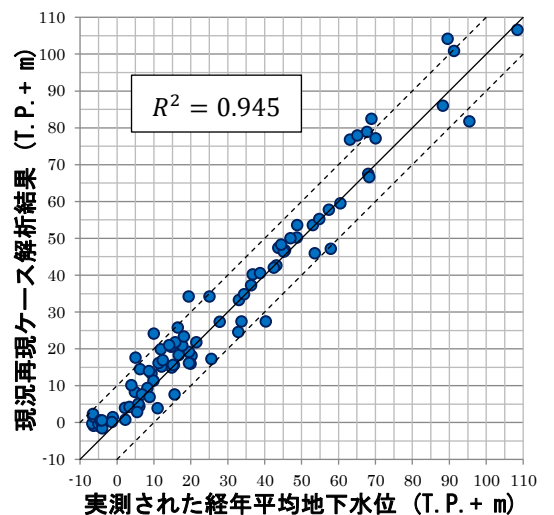


図-4 現況再現解析値と実測値との比較

4. 考察

(1) 地下水位上昇原因の考察

図-6 に、自治体別の水道揚水量を示す。図-5 において大きな地下水位上昇があった北多摩地域および西多摩の一部地域を見ると、水道揚水が他の地域に比べて多いことが分かる。更に、水道揚水の多い自治体に近接する地域でも同様に地下水位上昇が起こっている。以下に、現況再現ケースと水道揚水停止ケースについて水道揚水が多い地域に着目して流跡線を作成することで、水道揚水が地下水流動や地下水位へ与えた影響について考察を行う。

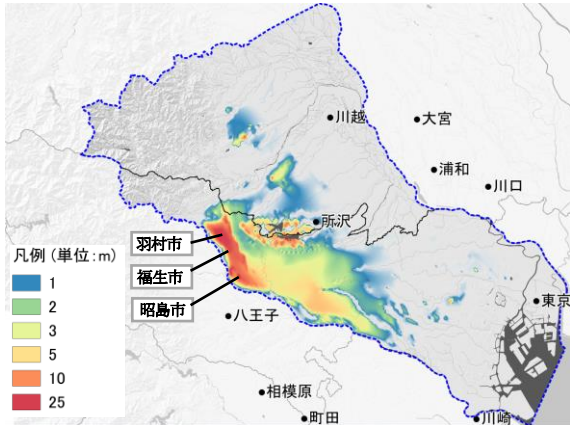


図-5 水道揚水停止による地下水位上昇高

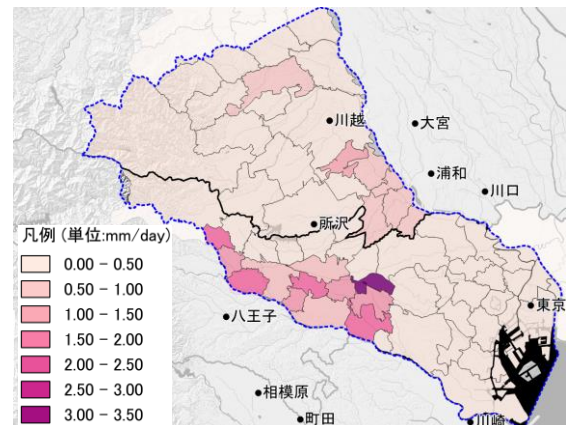


図-6 自治体別の水道揚水量

図-7 に、現況再現ケースと水道揚水停止ケースの流跡線を示す。流跡線とは表流水と地下水の動きを一体的に可視化したもので、本研究では実際の揚水が多い深度 150m 地点を出発点として、流動経路を赤い実線で表した。図-6 の水道揚水が多い地域に着目すると、図-7 a) の現況再現ケースの流跡線は周辺地域の地下水を引き寄せて揚水していることが読み取れる。一方、図-7 b) の水道揚水停止ケースの流跡線はほぼ歪むことなく伏流して河川や海へ流出している。以上のことから、水道揚水の停止に伴って揚水されていた周辺の地下水がそのまま帯水層下面形状に沿って流下するようになったため、水道揚水が多い自治体に加え、その周辺自治体の地下水位も上昇する結果になったと考えられる。

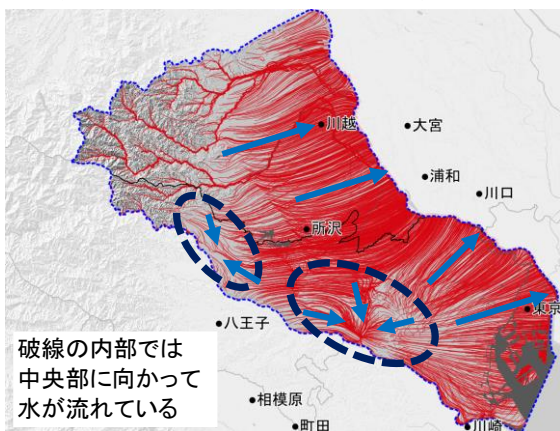


図-7 a) 現況再現ケースの流跡線



図-7 b) 水道揚水停止ケースの流跡線

(2) 水涸れ河川への影響考察

図-8 に、現況再現ケースと水道揚水停止ケースの北多摩地域における地表面への湧出高分布を示す。両者の比較から、野川・仙川・残堀川・空堀川などの河川で水道揚水停止により湧出高が増加していることが分かる。これらの河川は図-5 にて地下水位が上昇した地域に存在し、地下水位の上昇に伴って河川への湧出水が増加したものと考えられる。

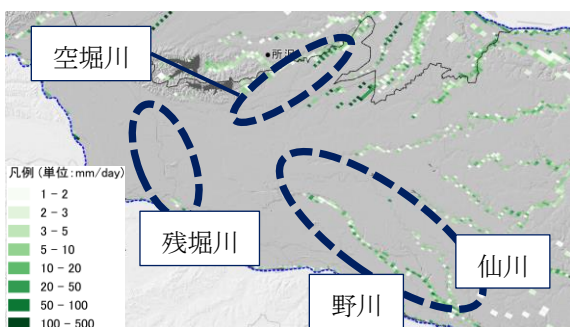


図-8 a) 現況再現ケースの湧出高

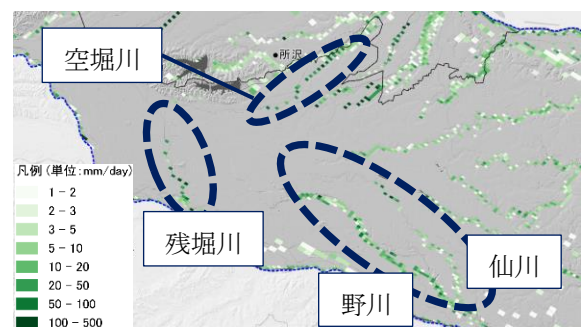


図-8 b) 水道揚水停止ケースの湧出高

図-9 に、現況再現ケースと水道揚水停止ケースの 23 区西部と北多摩西部における表流水深分布を示す。両者の比較から、野川・仙川などの水涸れが発生しやすい多摩地域の河川や、石神井川・神田川などの自然流量が少ない区部の河川において、水道揚水停止による表流水の出現や増加が読み取れる。これは図-5・図-8 より、地下水位が上昇して河川への湧出水が増加したことに伴って表流水が増加したためと考えられる。以上の結果より、水道揚水を停止することで、武蔵野台地上の多くの中小河川で水涸れが緩和され、平時でも水が流れる可能性があることが示唆された。

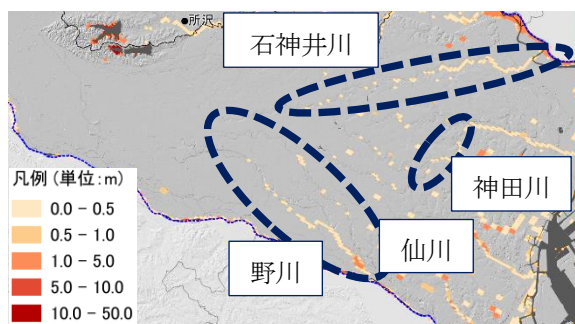


図-9 a) 現況再現ケースの表流水深

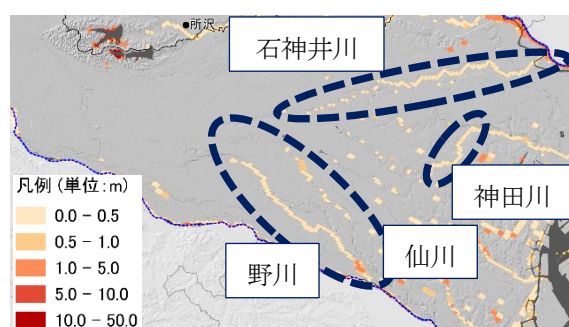


図-9 b) 水道揚水停止ケースの表流水深

5. 結論

本研究では武蔵野台地調査に関して、公開データのみを用いて検証解析を行い、現況の地下水位状態を高い精度で再現した。更に水道揚水を全停止したケースを新たに作成して解析することで、水道揚水が地下水位へ与える影響を定量的に評価し、地下水位上昇の原因と水涸れ河川の緩和効果を考察した。解析の結果、水道揚水停止により水道揚水量の多い東京都北多摩地域および西多摩の一部地域を中心に 3m 以上地下水位が上昇し、特に羽村市・福生市・昭島市周辺では 20m 以上地下水位が上昇することが明らかとなった。これは揚水井周辺の地下水が伏流した結果、広域にわたる地下水位上昇が発生したものと考えられる。そしてこの広域の地下水位上昇に伴い、多摩地域を中心とする河川の一部において湧出水や表流水の増加が確認でき、水道揚水停止が河川の水涸れ緩和に極めて有効な可能性が示唆された。

今回の研究では揚水量減少による河川の水涸れ緩和に焦点を絞り解析を行ったが、この他にも透水性舗装の整備や下水道再生水の導入など、水涸れを緩和させる行政施策は数多く存在する。今後は解析モデルや設定条件の改良を進め、より実社会に即した解析を行うことで、都市部が抱える水環境の課題に対する解決策を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 東京都建設局：東京都河川整備計画について <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/river/jigyo/kasenseibikeikaku/index.html>
- 2) 川合将文, 川島眞一, 國分邦紀：「河川の水量確保等に関する検討」の成果と課題, 平成 26 年 東京都土木技術支援・人材育成センター年報, pp.115-132, 2014.
- 3) 東京都 土木技術支援・人材育成センター：平成 27 年度 空堀川流域水循環特性調査解析委託報告書, 2016.
- 4) 国土交通省：国土地理院基盤図情報 <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 5) 東京都 土木技術支援・人材育成センター：東京の地盤(GIS 版) <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/tech/start/03-jyouhou/geo-web/00-index.html>
- 6) 遠藤毅, 中村正明：東京都区部の深度地盤構造とシルト層土質特性, 土木学会論文集, No.652/III-51, pp.I_185-I_194, 2000.
- 7) 遠藤毅, 川島眞一, 川合将文：北多摩地区の地下地質, 応用地質 36 巻 4 号, pp.17-26, 1995.
- 8) 鈴木宏芳：関東平野の地下地質構造, 防災科学技術研究所研究報告 第 63 回, pp.1-19, 2002.
- 9) 気象庁：メッシュ平年値図 2010 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/view/atlas.html>
- 10) 東京都下水道局：「区部下水道全体計画図」「流域下水道全体計画図」, 東京都下水道局事業概要 平成 27 年版, 2016.
- 11) 埼玉県下水道局, 埼玉県都市整備部：埼玉の下水道 平成 27 年度版, pp.11-20, 2015.
- 12) 東京都環境局：平成 25 年 都内の地下水揚水の実態 (地下水揚水量調査報告書), pp.34-37, 2015.
- 13) 埼玉県環境部：平成 24・平成 25 年 地域別 用途別 市町別 月別 地下水採取量, 埼玉県地盤沈下調査報告書(平成 24・25 年度観測結果), 2014,2015.
- 14) 環境省：全国地盤情報ディレクトリ 関東平野南部(東京都) <http://www.env.go.jp/water/jiban/directory/kantou.html>
- 15) 国土交通省：全国地下水資料台帳 <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/water/basis/underground/F9/exp.html>
- 16) 東京都 土木技術支援・人材育成センター：地盤沈下と地下水位の観測記録(平成 24・平成 25 年), 平成 26・27 年 土木技術支援・人材育成センター年報, 2014,2015.
- 17) 埼玉県環境部：月平均地下水位観測表 (平成 24・平成 25 年), 平成 24・平成 25 年 地盤沈下・地下水位観測年報, 2014,2015.