

10. 「河川の水量確保等に関する検討」の成果と課題

Results and Issues of Investigation for Maintaining of River Water

技術支援課 川合将文、川島眞一、国分邦紀

1. はじめに

東京都土木技術支援・人材育成センター（平成18年度～20年度の「土木技術センター」を含む。以下「当センター」と記す）では、平成18年度～25年度まで、調査開発名「河川の水量確保等に関する検討」（表-1）として、北多摩地域の野川や空堀川を対象に、「平水時に河川の水流量がなくなる現象（「水涸れ」或いは「瀬切れ」と呼ばれている）」に関連して、地下水に関わる水文環境調査や対策工（河床粘性土張りなど）の効果検証などを実施してきた。本報告はその取り組みの経緯や調査方法、調査結果、成果の普及、今後の課題などについて取りまとめたものである。

2. テーマの趣旨及び設定の経緯

本調査開発名の趣旨は「河川水量の減少がみられる武蔵野台地部の野川、空堀川などを対象に、地質構造や地下水位等の水文環境を明らかにし、水量確保等の施策や提言の一助とする」ものである。

本調査開発の設定の背景には、野川や空堀川の水涸れ対策について、都議会での論議や都民からの要望などがある。建

設局では平成17年度から、「武蔵野台地部河川の水量確保連絡会」を設置し、課題の整理や取り組み状況の報告などが行われた。当センターは、その中で、現場課題に密着した重要な技術支援として位置づけ取り組んできた。

本調査開発の正式な開始年度は前述のとおり平成18年度であるが、それに先行した平成15年度～17年度の取り組みがある。当時は土木技術研究所であるが、研究所の中期計画（平成14～18年度）のプロジェクト研究「地下水の保全と活用に関する研究」の一部として取り組まれたものである。

本調査開発名の設定には、これらの先行調査の成果も取り込み、平成18年度からの組織改正の趣旨を踏まえ、現場課題により密着し、事業推進に役立つ技術支援、また、それを支える調査開発として位置づけられたものである。本報告は、先行

表-1 調査開発テーマと経緯

組織名	年度	調査研究・調査開発テーマ名	対象河川・地域名	摘要
土木技術研究所	15	地下水の保全と活用に関する研究(H14～18)	野川:武蔵野公園付近	中期計画:プロジェクト研究(H14～18)
	16		野川:上流域	
	17			
土木技術センター	18	河川の水量確保等に関する検討(H18～22)	野川:上流域 (空堀川:達磨坂橋付近)	組織改正に伴うテーマ、調査内容等の整理
	19		野川:上流域 (空堀川:野塩橋～石橋付近)	
	20		空堀川:柳瀬川合流点付近他 (野川:上流域(一部)、下流域)	
			空堀川:下流域	
			(野川:上流域(一部)、下流域)	
土木技術支援・人材育成センター	21・22	河川の水量確保等に関する検討(H18～25)	空堀川:下流域他 (野川:上流域(一部)、下流域)	計画年度を3年延長
	23～25		空堀川:下流域他 (野川:上流域(一部)、下流域)	

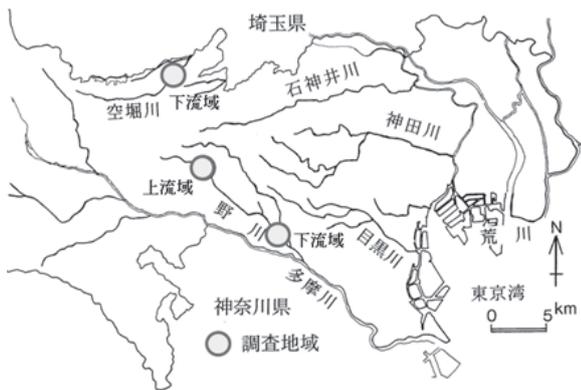


図-1 調査位置図

期間も含めて、平成15年度～25年度までの取り組みについて報告する。

3. 調査位置

本調査開発で取り組んだ調査地域は、図-1のとおり、野川上流域、空堀川下流域、野川下流域の3地域であるが、野川下流域は、50mm対応の河床工事に関わるもので、水涸れ対応とはやや異なることから、別の機会に報告するものとする。

本調査開発の取り組み状況について、以下、野川上流域、空堀川下流域の順に述べる。

4. 野川上流域

(1) 調査地域と野川の水涸れ状況

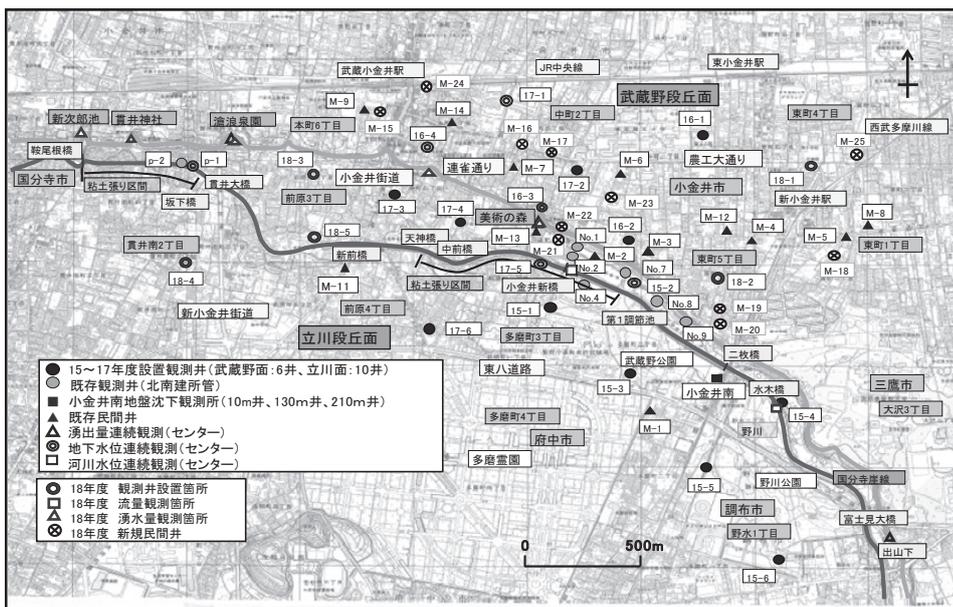


図-2 調査地域

野川は、武蔵野台地の南部を北西から南東方向に流下し、世田谷区内で多摩川に合流する延長約20km、流域面積約70km²の一級河川である。

本調査地域(図-2)は小金井市南部から府中市北部を中心とした地域で、東は都立野川公園から西は国分寺市との市境になる鞍尾根橋まで、南は都立野川公園から北はJR中央線付近まで、東西約3.5km、南北約2.5kmである。

地形的には、北から東北に向けた地域は標高約72～62m(T.P.)の武蔵野段丘面、中央部に比高差15m前後の国分寺崖線があり、南から南西に向けた地域は標高約56～44m(T.P.)の立川段丘面である。両段丘面は概ね西から東に向かって次第に低くなっている。

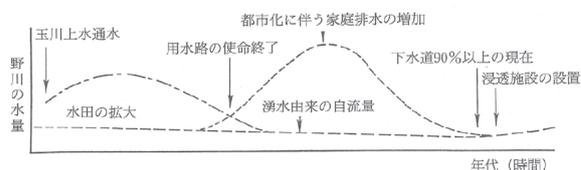


図-3 野川の水量の歴史の変遷¹⁾

野川の河川水量の歴史的な変遷については、図-3のように考えられている。水涸れの要因としては、流域の市街地化による不浸透域の拡大、用水路の廃止、下水道の整備による家庭排水の減少、

河川工事の進捗、地下水の汲み上げの影響などが考えられ、水量確保については多方面からの取り組みが必要である。近年の水涸れの事例として、平成16年夏の事例(図-4、北多摩南部建設事務所調べ、平成16年7月28日)を紹介する。本調査地域の小金井新橋付近(○印)で最長約3.0km、その他の区間を合わせて約5.8km、全川の約30%が水涸れ状

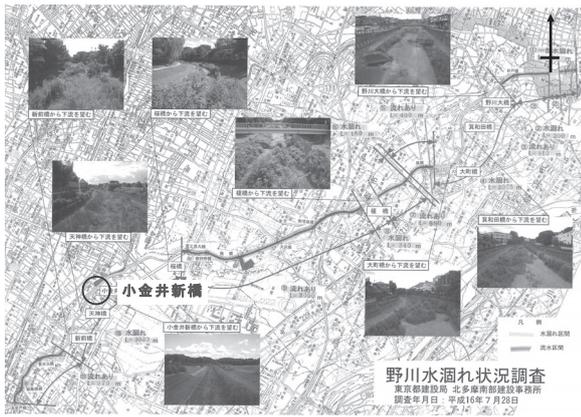


図-4 野川水涸れ状況 (H16. 7. 28)

態になるなど深刻な状況であった。

(2) 調査計画と実施状況

本調査地域の取り組みは、主として平成 15 年度～19 年度である。全体の調査計画及び実施状況は表-2 のとおりである。計画は平成 15 年度～17 年度の先行調査との関係整理や進捗状況に合わせた見直しを行っているので、表-2 は、最終的な調査計画と年度別実施数量である。

調査計画の目的を「野川維持用水の確保」とし、課題を「水涸れの現状把握」と「水源確保等」に設定した。さらに、前者を「水涸れの時期、箇所

の把握」、「水文環境の把握（立川段丘面の水文環境の把握）」、「水涸れの予測」の調査内容に三分し、後者を「崖線湧水の活用（武蔵野段丘面の水文環境の把握）」、「深層地下水の活用」、「粘性土張り効果検証」、「用水・水路の復活」に四分して、全体の考え方を整理した。なお、「用水・水路の復活」については、他団体（野川流域連絡会など）の取り組みがあるので連携するものとして位置づけた。

以下、各「調査内容」について順次述べるが、説明の都合上、合わせた説明や順序が異なるところがあることを了承願いたい。

(3) 「水涸れの時期、箇所の把握」

「水涸れの時期、箇所の把握」として、平成 17 年度に、野川の流量観測、流入する湧水の流入量調査等を実施した。図-5 に平成 18 年 3 月 9-10 日の事例を示した。なお、同時に 11 項目の水質調査も行っているが、詳細は既報²⁾を参照されたい。

調査地点は、主な橋、既設粘性土張りの前後、湧水の流入箇所、水涸れ区間を除き 26 地点である。流量は最も上流の鞍尾根橋付近で最大 0.009m³/秒流れていたが、増減を繰り返し次第に少なくなり、中流の中前橋付近でほぼゼロになり、

表-2 調査計画と実施状況（野川上流域）

目的	課題	調査内容	実施年度	調査項目・数量
野川維持用水の確保	水涸れの現状把握	水涸れ時期、箇所の把握	15-17	流量観測：4箇所、流量・流入量観測：26箇所、水質調査：11項目：26箇所
		水文環境の把握（立川段丘面の水文環境の把握）	15-17	地質調査・観測井設置：10井、現場透水試験：4井4箇所、地下水位一斉測水：最大25井×6回、第1調節池内浸透試験：6箇所、文献調査・過去資料の収集整理等
			18-19	地質調査・観測井設置：3井、現場透水試験：3井3箇所、地下水位一斉測水：28井×9回、とりまとめ
			20-25	（継続調査）連続観測の継続等 25年：一斉測水
	水涸れの予測	18-22	低水流出解析、湧水との水循環解析、3次元水循環シミュレーション解析等	
	水源確保等	崖線湧水の活用（武蔵野段丘面の水文環境の把握）	16-17	地質調査・観測井設置：6井、一斉測水：最大15井×4回、現場透水試験：2井4箇所、湧水量観測：4箇所×2回、連続観測：3井、ポーリングデータ収集整理等
			18-19	地質調査・観測井設置：2井、現場透水試験：2井4箇所、湧水量観測：4箇所、地下水位一斉観測：最大27井×8回、地下水位連続観測：4井、ポーリングデータ収集整理等、とりまとめ
			20-25	（継続調査）連続観測の継続等 25年：一斉測水
		深層地下水の活用	15-16	地下水揚水実験（小金井南地盤沈下第1観測井を活用）：2回、地盤沈下調査、地下水放流浸透実験、地下水水質調査：8項目：3回等、とりまとめ
		粘性土張り効果検証	17	野川近接の観測井：地下水位連続観測：2井
			18-19	野川近接の観測井：連続観測：5井、とりまとめ
	20-25		（継続調査）連続観測の継続等	
用水・水路の復活	-			

*：他団体（野川流域連絡会等）と連携

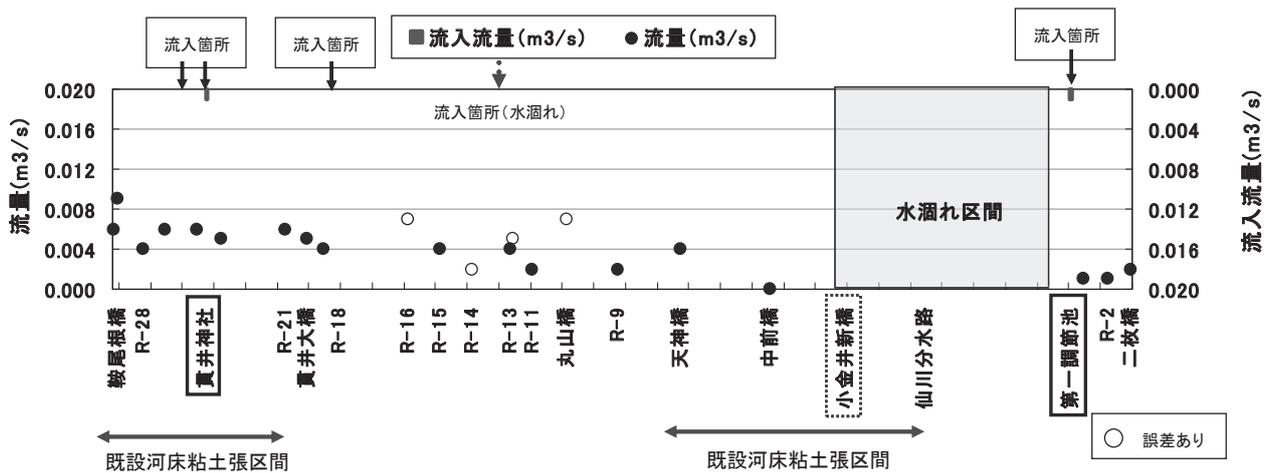


図-5 流量・流入量と河床粘性土張り

小金井新橋付近から第一調節池の湧水流入口までは水涸れ状態であった。そして、そこから復活して、二枚橋で0.002m³/秒まで増えていた。湧水の流入口はいくつかあるが、測定できたのは貫井神社と第一調節池の2箇所、いずれも0.001m³/秒であった。

粘性土張りの効果検証として、施工境界前後の流量変化を調査したがわからなかった。

本調査地域では、水涸れが最初に発生する区間は、中前橋～小金井新橋付近にかけた区間で、それから上下流側に次第に拡大して行くことが多いと言われている。

(4) 立川、武蔵野両段丘面の水文環境

「水文環境の把握（立川段丘面の水文環境の把握）」と「崖線湧水の活用（武蔵野段丘面の水文環境の把握）」は、いずれも浅層地下水の帯水層になっている両段丘礫層の水文地質構造や地下水の流れなどの解明に関わる事項である。本項及び(5)項、(6)項に分けて述べる。

本項の説明の参考に、国分寺崖線付近の地質断面図（イメージ）を図-6に示した。この地質断面図は概念図ではあるが、野川と両段丘の位置関係、崖線湧水との関係、段丘礫層と下位層との関係など、この地域の水文環境を考える際には、分かりやすく有用な断面図である。

両段丘面とも、上位から関東ローム層（層厚は武蔵野段丘面が厚い）、段丘礫層（層厚は武蔵野段

丘面が厚い）、上総層（シルト層、砂層など）の順に構成されている。層厚は異なるが地層の重なりパターンは同じであるので、両方まとめて述べることにする。

両段丘面の水文地質構造の解析に使用したデータは、本調査開発で実施した地質調査（武蔵野面8本、立川面12本、いずれも観測井に仕上げた）や当センターの地盤情報システムのデータ、北多摩南部建設事務所の河川工事時のボーリング資料などである。データ数は少ないが、おおまかな構造は解明できたと考えている。

地表面の微地形を見るため図-7を作成した。本図は国土地理院発行1万分の1地形図の等高線図である。2万5千分の1地形図では判読できなかった微高地（尾根筋）や連続する浅い凹地形（谷筋）などを読み取ることができた。次に、関東ロ

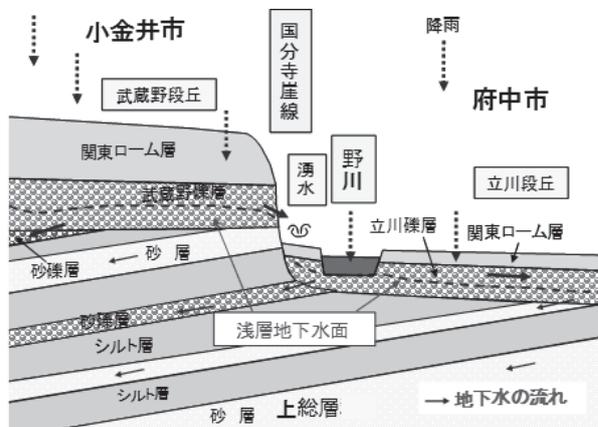


図-6 国分寺崖線付近の地質断面（イメージ）

ーム層基底面の等高線分布を図-8に、
 両段丘礫層基底面の等高線分布を図
 -9にそれぞれ示した。

3 図面の等高線分布の相互関係を検
 討した結果、段丘礫層基底面から関東
 ローム層基底面に繋がり、さらに、地
 表面の微地形まで繋がる水文地質構
 造上の特徴がいくつか明らかになっ
 た。

主な構造は次のとおりである。なお
 詳細は既報³⁾を参照されたい。

1) 武蔵野段丘面

①武蔵小金井駅南東部で、武蔵野礫
 層基底面に東西方向の尾根筋（高ま
 り）がある。この尾根筋はローム層基
 底面でも認められ、地表面の微高地
 （閉曲した68m等高線）まで繋がっ
 ていることが読み取れる。②また、この
 微高地の高まりが東側の新小金井駅
 付近まで延びていることと、この高ま
 りは、武蔵野砂礫層基底面でも、不明
 瞭であるが、東側に凸になったゆるい
 尾根構造として認められる。③さらに、
 前述の武蔵野礫層基底面の東西方向
 の尾根筋のすぐ南側には浅い凹構造
 があるが、これも、関東ローム層基底
 面の南東方向に開く谷筋に反映され、
 地表面では南に延びる谷筋になっ
 ていることなどが読み取れる。

2) 立川段丘面

①小金井新橋付近の立川段丘礫層
 の基底面には40m～39m等高線による
 凹構造がある。②この凹構造を境に、
 西側の等高線はほぼ南北方向を示し
 ているが、東側はほぼ東西方向にな
 り、東側と西側でその方向が異なっ
 ていることが分かる。③関東ローム層
 基底面では、小金井新橋付近の等高
 線に段丘礫層基底面の凹構造の影響が

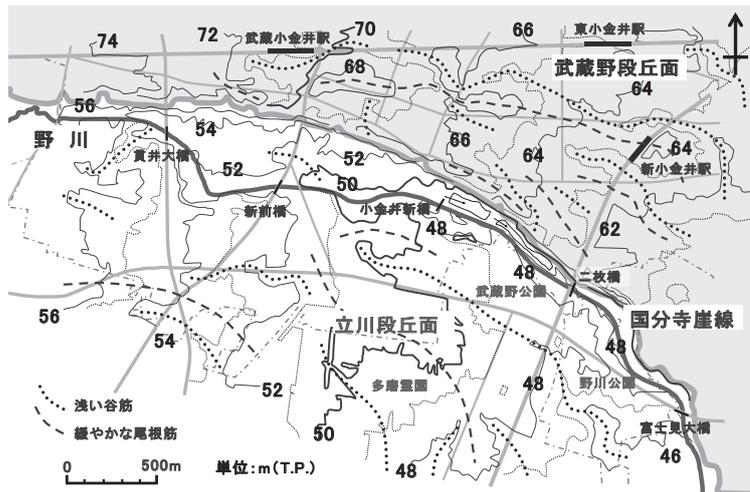


図-7 地表面の微地形

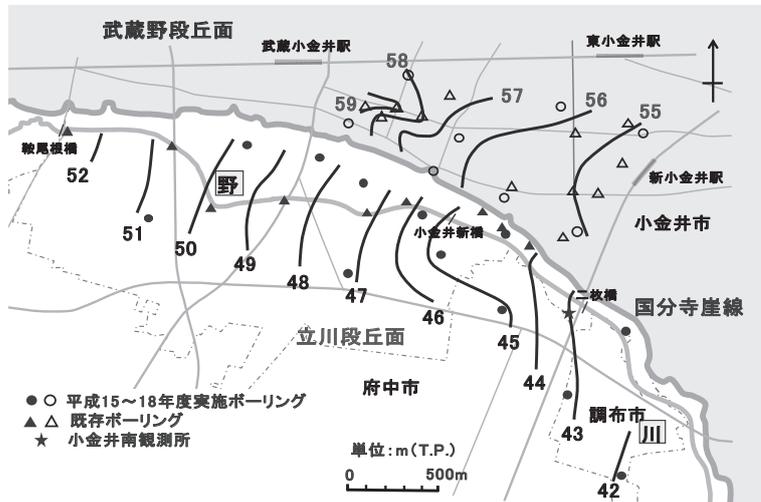


図-8 関東ローム層基底面の分布

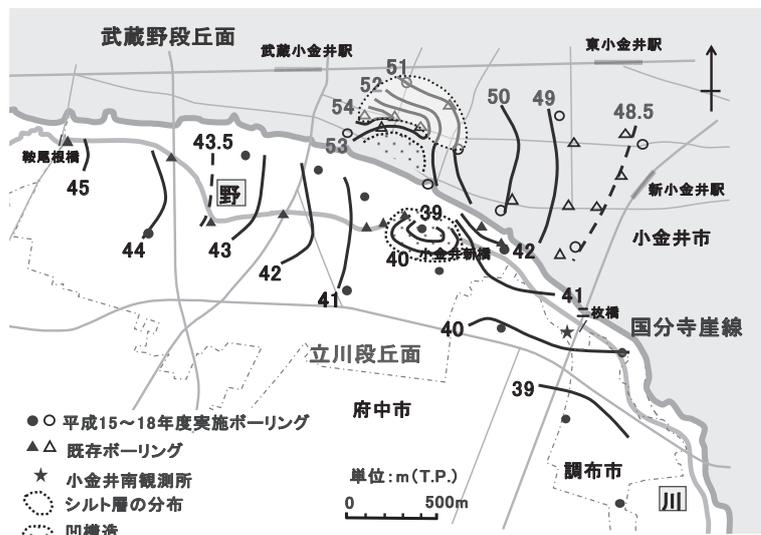


図-9 両段丘礫層基底面の分布

ているが、西側はほぼ南南西から北北東方向で、段丘礫層基底面とほぼ同じである。一方、東側は南北方向になり、段丘礫層基底面の東西方向とは異なっている。④地表面の等高線分布には細かな微地形があり複雑に見えるが、関東ローム層基底面の分布と似ており調和的である、ことなどが読み取れる。

(5) 地下水位面図と地下水の流れ

帯水層中の地下水の状況を調べるため、一斉測水による地下水位面図(地下水位の等高線分布図)を作成し検討した。一斉測水の観測点数は最大、武蔵野段丘面 27 点、立川段丘面 27 点、国分寺崖線斜面 2 点である。実施回数は、高水位期 2 回を含め 15 回程度である。

低水位期は帯水層内の水位が低くなり、帯水層の基底面(本調査地域では武蔵野礫層と立川礫層)の凹凸や高まりなどの分布形態を反映している場合が多い。ボーリングデータが少ない場合などに基底面の構造を考える際には貴重なものになる。

低水位期の事例として、平成 20 年 2 月 12 日の地下水位面図(図-10)を示した。地下水位の等高線の分布形態から尾根筋と谷筋の位置を調べ、地域区分を行った。さらに、図-11として、図-10に地下水の流れ方向と後述する「効果的地域」とを加えたものを示した。なお、高水位期の地下水位面図も示して比較検討すべきであるが、紙数の制限もあることから省略した。詳細は既報⁴⁾を参照されたい。

特徴は次にとおりである。

1) 武蔵野段丘面

武蔵野面では、①武蔵小金井駅付近とやや東側に 56m (T.P.) の閉曲等高線があり、次第に南東方向に低くなり、新小金井駅付近で約 49m (T.P.) になっている。②閉曲した 56m 等高線から

ほぼ東西方向に尾根筋が 51m 等高線付近まで延びている。③この尾根筋の 55m 等高線付近から枝分かれして、国分寺崖線に平行に南東方向に延びる尾根筋がある。④前述の 2 本の尾根筋で、本地域は国分寺崖線に沿って細長く延びる地域(I)、尾根筋の分岐点から東に扇状に広がる地域(II)、東西方向の尾根筋の北側になる地域(III)の 3 地域に区分することができる。また、II 地域では 52-50m 等高線が波状構造を示し、細かい尾根筋が 2 本認められる。

次に、地域区分と地下水の流れ方向と崖線湧水との関係(図-11)をみると、地下水は原理的に

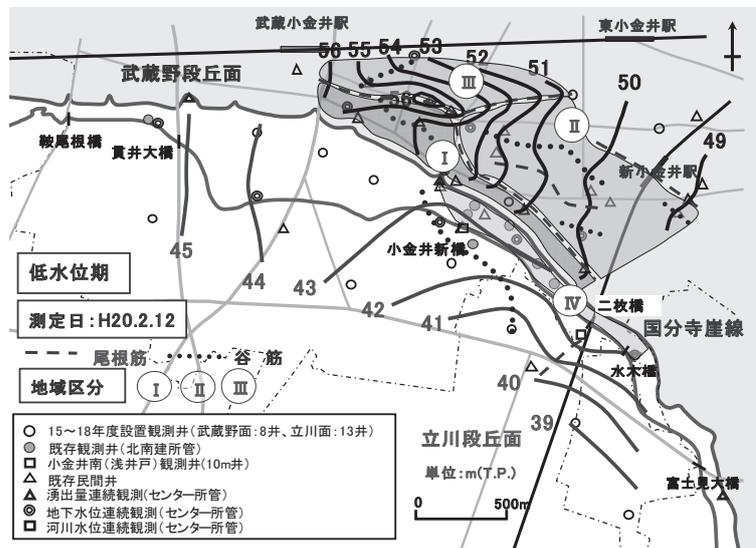


図-10 尾根筋、谷筋の位置と地域区分

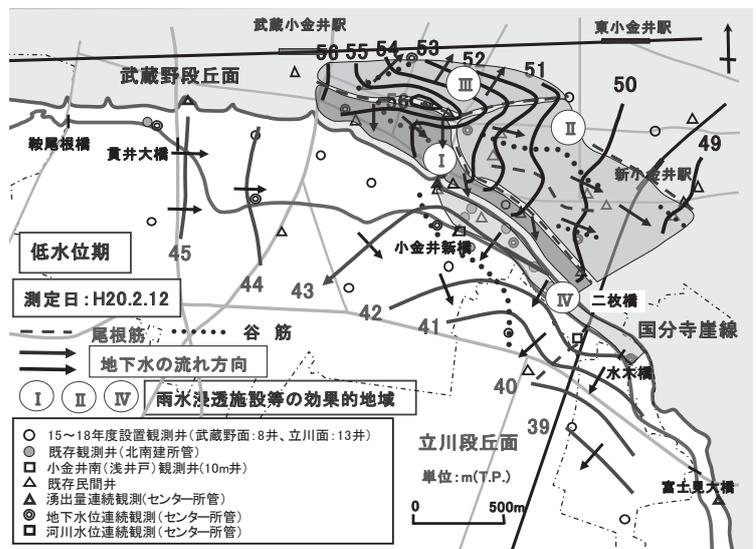


図-11 地域区分と地下水の流れ方向

は等高線に対して垂直方向に流れることになるので、I 地域では地下水の流れ方向が崖線に向かっていることがわかる。このことから、I 地域は崖線湧水に直接関わる地域ということが出来る。II 地域は全体的には北西から南東方向に流れている地域で、崖線とはほぼ平行関係になっている。崖線湧水との関係では、小金井市域より下流側の三鷹市域の湧水と関係する地域と考えられる。また、域内には3本の谷筋があり、この谷筋に沿った流れが認められる。III 地域は南西から北東方向の流れになっており、崖線湧水との関係では直接的関係は少ない地域と考えられるが、今後の調査が必要である。

2) 立川段丘面

立川段丘面では、①西部の貫井大橋付近で約45m (T.P.) で、次第に南東方向に低くなり、野川公園南部で約39m (T.P.) になっている。②小金井新橋付近に北西-南東方向の谷筋と二枚橋付近に南西-北東方向の尾根筋が認められる。③ほぼ中央の小金井新橋付近を境に、上流側の等高線はほぼ南北方向で間隔が開いている。流れ方向はほぼ東向きになり、地下水位面の勾配は1000分の1.5程度である。④一方、下流側の等高線はほぼ東西方向に変化しており、流れ方向は南向きになっている。等高線の間隔も西側に比べて密になり、地下水位面の勾配は1000分の5程度である。

地下水の流れをまとめると、小金井新橋付近から西側では西から東向きの流れになっているが、東側ではほぼ北から南向きになり、その境界に谷筋が入っている。また、地下水面の勾配も西側と東側ではかなり異なっていることなどから、西側と東側は別な流れと考えられる。また、二枚橋付近の尾根筋の両側では、ほぼ同じ南向きになっていることから、東側地域内ではほぼ一体的な流れになっていると考えられる。

なお、野川と国分寺崖線に挟まれた左岸の狭い地域(IV)は、崖線湧水により涵養されている地域で、野川に直接向かう流れになっている。

3) 昭和53年の武蔵野段丘面の地下水位面図

今から35年ほど前になる昭和53年2月19日の地下水位面図(図-12)⁵⁾を手に入れることができた。これは、仙川分水路工事に関連して、小金井市梶野町から東町、中町にかけての地域で、市民が一斉測水を実施し作成した地下水位面図(低水位期)である。今回のI-II地域に一部重なっている。調査範囲は狭いが観測地点が45点もあり、今回の観測点数の数倍にもなり、細かな地下水の流れを解析できる貴重なものである。元図は等高線のみでの地下水位面図であるが、尾根筋と谷筋、地下水の流れ方向を加筆して検討した。

主な特徴は次のとおりである。①ほぼ北西-南東方向の4本の尾根筋(A-1~4とする)と、その間に3本の谷筋(B-1~3とする)が読みとれる。

尾根筋であるが、②特に、A-2尾根筋の位置が重要である。この位置は、図-10に示したII地域の北東側境界線に相当し、また、図-7、9で述べた武蔵小金井駅の南東部から新小金井駅まで延びている尾根筋(武蔵野段丘礫層基底面から地表面まで繋がる構造)の東側部分の位置と一致していることがわかる。この構造は、この地域の地下水

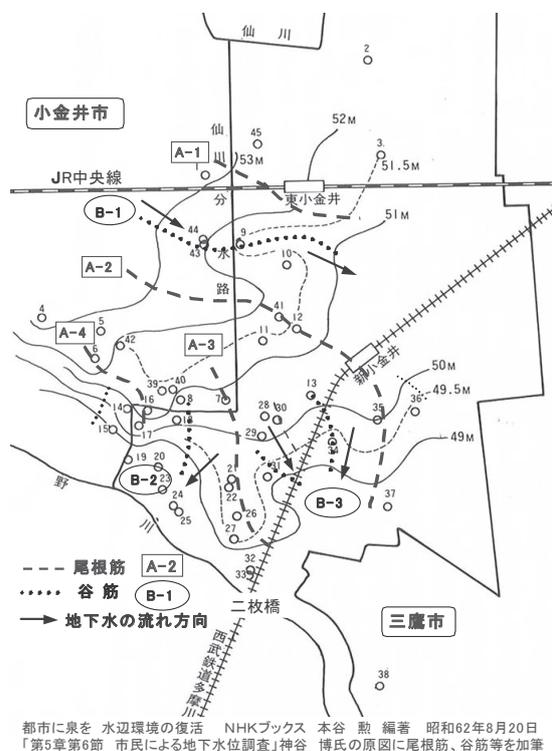


図-12 地下水位面図(昭和53年2月19日)

の流れ（低水位期）の境界線、分水嶺に当たるものと考えられる。③二枚橋方向に向かう北西－南東方向のA-3尾根筋があるが、今回の調査で見つかったⅡ地域内の北西－南東方向の尾根筋との関係についてはよく分からなかった。④A-3とA-4は別々の尾根筋であるが、今回の調査ではⅠ地域とⅡ地域の境界の一部としてしまった可能性のあるものである。

次に谷筋であるが、①B-2のように北西－南東方向から向きを変え、国分寺崖線に向かう谷筋やB-3のように2つの谷筋が合流しているような細かな構造も読み取れるが、今回の調査では細かいところまで解析できなかった。②B-2は崖線付近になると崖線方向に向かっているが、その向かい先には現在も有力な湧水があり、この地下水位面図の精度の高さを示している。

(6) 「崖線湧水の活用」

前述の(4)及(5)で述べたとおり、武蔵野段丘礫層中の浅層地下水の地域区分と流れ方向と国分寺崖線との位置関係を解明することができた。このことから、武蔵野段丘面上で雨水浸透施設等を設置する場合の効果的な地域として、Ⅰ及びⅡ地域を特定することができた。

小金井市は、崖線湧水や地下水の保全活動について、市民の関心が高い地域であり、雨水浸透施設

の設置数は全国一で、平成13年には日本水大賞を受賞した市でもある。効果的地域を特定したことは、今後の施策展開に有用な情報になると考えられる。

また、Ⅳ地域は立川段丘面（野川左岸）ではあるが、崖線湧水により涵養されて野川に流出する地域であることから、雨水浸透施設等の設置は野川の流量を増やす上で有効である。

(7) 「河床粘土張りの効果検証」

河床粘性土張りは、一般的には河川水の河床からの浸透を抑制する目的で施工されるので、浅層地下水位が河床高より高い場合は逆効果になってしまうこともあり、浅層地下水位と河床高との高低関係を把握することが重要である。既設粘性土張りの効果検証と未施工区間での必要性を検討するため、野川の縦断方向について、浅層地下水位と河床高との関係図（図-13）を作成した。国分寺市との市境の鞍尾根橋から野川公園内の水木橋下流まで状況である。高水位期の事例として、平成20年9月5日（「2008年8月豪雨」の直後、府中アメダス：総雨量290mm）のデータを、低水位期として平成20年2月2日のデータを示した。

野川の河床は、図から明らかなように、立川段丘礫層の上端又は上部に位置している。このことから、何らかの対策を取らない限り、地下水位が

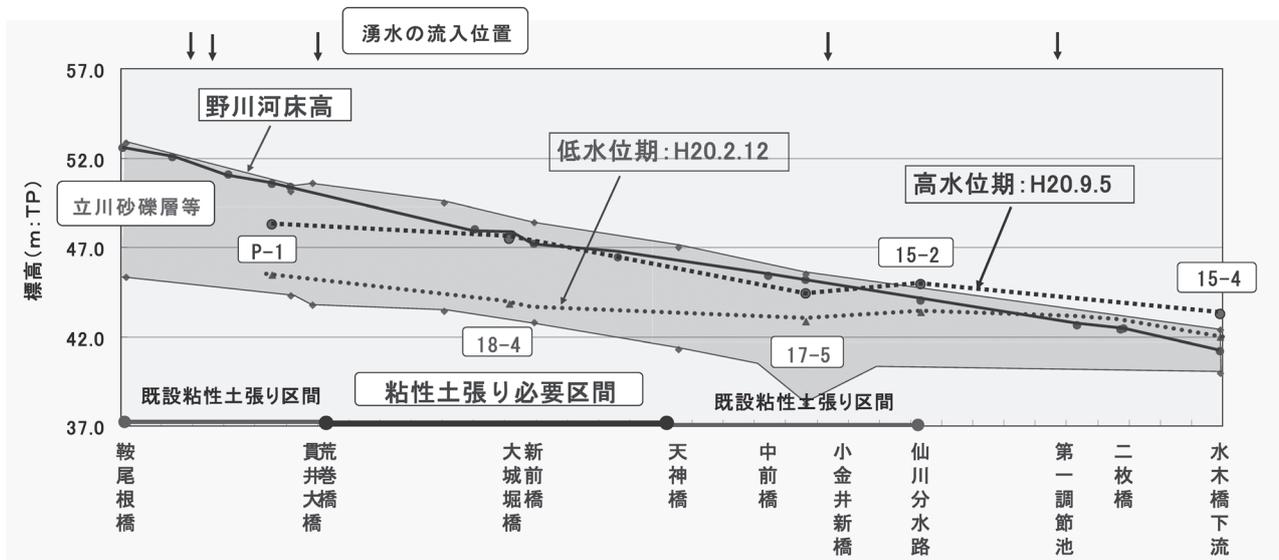


図-13 野川河床高と浅層地下水位と河床粘性土張りとの関係

河床高より低い場合には、河床からの浸透は避けられない状況である。

地下水位と河床高との関係を見ると、3 区間に分けることができる。①小金井新橋付近より上流区間では、一部、高水位期に地下水位が河床高付近まで上昇してくる箇所があるが、ほとんど河床高には達することのない区間、②第一調節池付近から下流区間は、低水位期でも河床高より高い区間、③その中間の小金井新橋付近から第一調節池

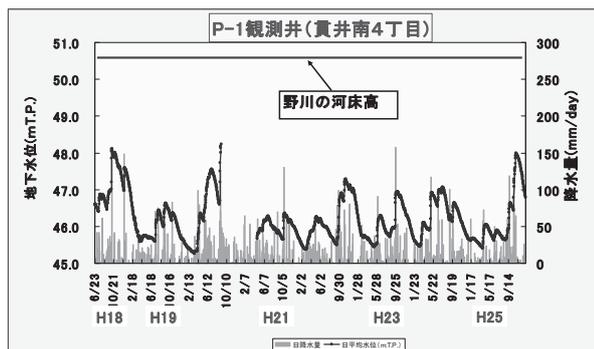


図-14 p-1 観測井の地下水位と河床高

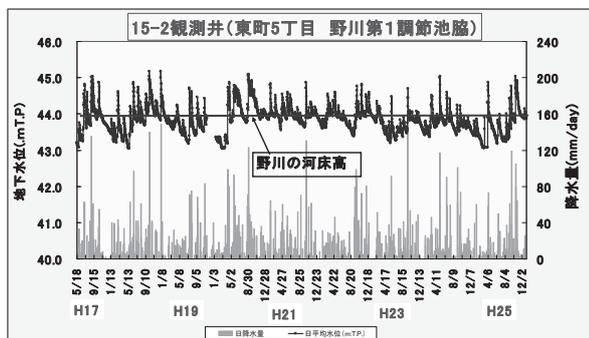


図-15 15-2 観測井の地下水位と河床高

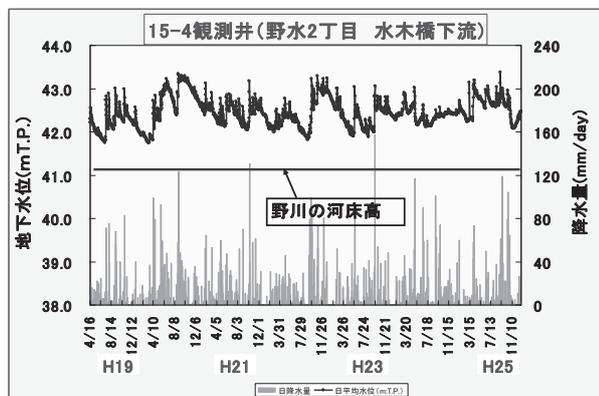


図-16 15-4 観測井の地下水位と河床高

付近までの区間は、地下水位が高い場合と低い場合がある区間である。

図-14 に上流区間の p-1 観測井、図-15 に中間区間の 15-2 観測井、図-16 に下流区間の 15-4 観測井について、ここ数年間の地下水位の連続記録と河床高との関係図を示した。

p-1 観測井では、台風による高水位期でも河床高との差は 2.5m 程度あり、通年で浅層地下水位が河床高に達することにはなかった。15-2 観測井は、高水位期には河床高より 1m 程度高く、低水位期には 1m 程度低くなる状況で、観測期間中、変動幅に大きな変化はなかった。15-4 観測井は低水位期でも河床高より 1m 弱高く、大きな変化はないように思われる。

以上のことから、粘性土張りとの関係を考えて、①既設粘性土張りのうち上流部の箇所については有効に機能している、と評価できる。また、中流部の箇所は、一部中間区間にかかっていることから、概ね有効に機能しているとは評価できるのではないかと考える。また、未施工区間（荒巻橋～天神橋）については、地下水位が河床高に達しない区間に入っていることから、粘性土張りが必要な区間ということが出来る。なお、この未施工区間では、その後、河床粘性土張りが順次施工されている。

(8) 「深層地下水の活用」

深層地下水の活用は、平成 15 年度～16 年度の先行調査^{6) 7)}である「地下水の保全と活用に関する研究」の一部として実施したものである。平成 18 年度の見直しで本調査開発に組み替えたものである。

揚水による地盤沈下を調べるため、小金井南地盤沈下観測所内に設置されている深さ 130m の第 1 観測井で揚水実験を実施し、第 2 観測井で地盤沈下量を計測した。16 年度の結果を地下水位の変動と地盤変動の関係として図-17 に示した。揚水実験は、段階揚水を前段に実施して、連続揚水の揚水量を決定し、72 時間程度の連続揚水を行った。

揚水量は最大 1 分当たり 974 リットルであった。

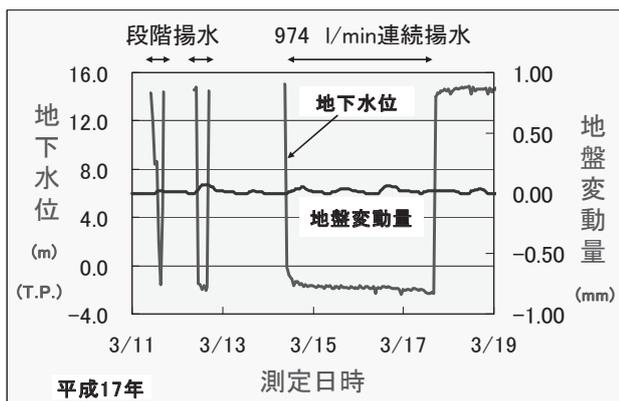


図-17 地下水位の変動と地盤変動の関係

地下水位は揚水開始と共に急激に15～17m低下し、揚水停止と共に急激に元に戻っている。その間の地盤沈下計の変動は0.07～-0.04mmで、通常の変動の範囲内にあり、地盤沈下量としては計測されなかった。

このことから、武蔵野公園という地域限定であるが、1分当たり1000リットル程度で短期間の揚水ならば、地盤沈下に影響はない、と考えることができる。

また、平成15年度の事例であるが、汲み上げた地下水を野川に放流（第一調節池の湧水流入口付近）し、下流側で流量観測を実施した。河床状況が変わらないという条件で、1分当たり約800リットルを放流すると、2.3km程度まで水を流すことができる、という計算結果になった。

(9) 「水涸れの予測」

本調査開発で明らかになった水文地質構造や地下水位の観測データを活用して、水理学的な解析^{8)～11)}を行ったものである。例えば、河川水と地下水との交流関係を組み込んだ降雨流出モデルを構築し、小金井新橋における無降雨日数と水涸れになるまでの日数との関係などを解明した。また、武蔵野段丘面の地下水位と崖線湧水との水循環解析などである。そのほか、三次元水循環モデルの構築やモデルの精度向上にも活用できるものと考えられる。

(10) 野川上流域の調査結果

先行期間を含めほぼ5年間の取り組みの主な調

査結果は次のとおりである。

①野川が流下する立川段丘面の水文環境と浅層地下水の状況を解明することができたことから、既設粘性土張りの有効性を検証し、河床粘性土張りの必要区間を特定することができた。

②武蔵野段丘面上の水文環境を解明したことから、国分寺崖線湧水の湧出を増やすために雨水浸透施設等を設置する場合、効果的な地域を特定することができた。今後の施策展開に有用な情報になるものである。

③深層地下水の活用について、武蔵野公園という地域限定ではあるが、毎分1000リットル程度で、短期間の地下水揚水ならば、地盤沈下への影響はない、と考えることができる。

④水文地質構造や浅層地下水の状態を解明することができたことから、それらを活用して、無降雨日数と水涸れとの関係を解明し、地下水位と湧水との水循環解析などを実施した。また、広域的な武蔵野台地の水文環境¹²⁾の解明、三次元水循環モデルの構築、総合治水対策の推進などの基礎資料として役立つものと考えられる。

5. 空堀川下流域

(1) 調査地域と空堀川の水涸れ状況

空堀川は狭山丘陵に源を発し、武蔵野台地上をほぼ東又は北東方向に流れ、清瀬市で段丘斜面を下って柳瀬川に合流している。河川の延長は約15.0km、流域面積は約26.8km²の1級河川である。

調査地域内(図-18)では、南西から北東方向に、武蔵野段丘面上の浅い凹地状の谷地形(幅300～500m程度)を流下している。河床高は最上流部(東村山市栄町:ふれあい広場)付近で約65m(T.P.)、中流部の新空堀橋(所沢街道)付近で約57m(T.P.)、野塩橋(志木街道)付近で約50m(T.P.)、西武池袋線との交差点付近で約47m(T.P.)、比高差約15mの段丘斜面を下り、埼玉県境の境橋(清瀬市中里)付近で約36m(T.P.)となり柳瀬川に合流している。ふれあい広場から境橋までの距離は約5.0kmである。なお、護岸整備工事前の旧空堀川は、明治薬



図-18 調査地域と観測井の分布

科大学付近(約42m(T.P.))で、やや東に向きを変え、狭小な立川面を流下して境橋に達していた。現在、旧川は清瀬市所管の清瀬せせらぎ公園内の人工的な小川として整備されている。

空堀川の特徴として、「柳瀬川流域河川整備計画」(東京都管理区間)¹³⁾(平成18年3月)の中で、「空堀川はかつての古多摩川が南下する際に取り残された小さな流れ・・・特定の水源に乏しい・・・河床の浸透が良い・・・降雨時だけ水の流れる涸れ川・・・」とされ、水涸れが発生しやすい河川であることが述べられている。水涸れは下流域に多く、平成10年頃から、夏～秋の期間にかけて、栗木橋から梅坂橋までで発生することが多くなった、と言われている。

図-19は空堀川を管理する北多摩北部建設事務所(以下「北北建」と記す)が、平成17年6月8日に実施した調査の一部(下流部)で、石橋付近～なかよし橋付近、秋津南橋付近～野塩橋付近などが水涸れ状態であった。

(2) 調査計画と実施状況

前述の(1)で述べたとおり、空堀川はもともと水涸れを起こしやすい河川であることから、河床か

らの浸透を抑制することは、積極的な水源確保対策ではないが重要な課題になる。空堀川下流域では柳瀬川の整備状況を考慮した50mm対応の河床掘削工事が下流側から予定されている。

空堀川下流域での取り組みは平成20年度～25年度であるが、平成18年度に先行調査として、東村山地盤沈下観測所内に観測井を設置した。同時に、狭い範囲であるが、既存井戸調査や一斉測水も実施した。

調査計画及び実施状況は表-3のとおりであるが、流量観測など一部の調査項目は北北建において実施されているので、それぞれ分担して取り組んだ。計画は18年度の先行調査を含め、調査の進捗状況に合わせた見直しをしているので、表-3は最終的な調査計画と年度別実施数量である。

調査計画の目的を「空堀川維持用水の確保」とし、課題を「水涸れの状況把握」と「水源確保等」に設定した。さらに、前者を「水涸れの時期、箇所把握」、「武蔵野面、立川面等の水文環境の把握」「河床(縦断方向)の浅層地下水の関係把握等」「河床掘削後の予測等」の調査内容に四分し、後者は「対策工法等の検討」「地下水等の活用」「工場等の排水活用」に三分した。

空堀川は野川と比べて困難な問題が多い。特に、自然水源は狭山丘陵の湧水しかなく、条件の厳し

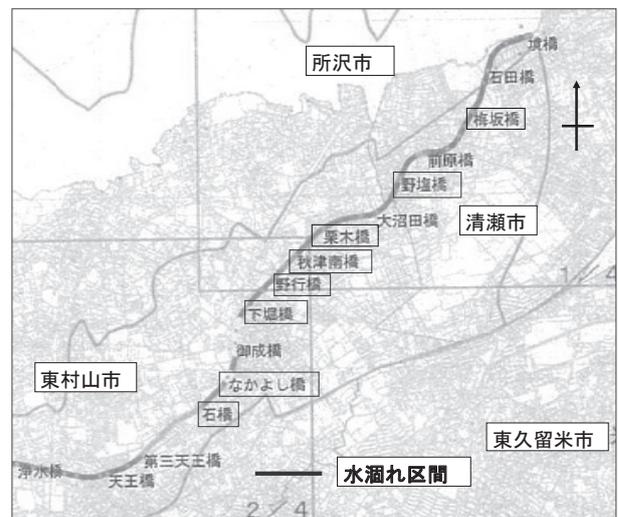


図-19 空堀川下流域の水涸れ状況(H17.6.8)

表-3 調査計画と実施状況（空堀川下流域）

目的	課題	調査内容	実施年度	調査項目
空堀川維持 用水の確保	水涸れの状況 把握	水涸れの時期、箇所等 の把握*	22-	北北建:流量観測:4回、湧水地点調査、生物調査等
		武蔵野面・立川面等の 水文環境の把握	18、20-25	センター:既存井戸調査:年度毎に下流より順次実施:460ヘクタール:測水可能井戸:63井を確認、地質調査・観測井:14井設置(18年度:先行設置を1井含む)、現場透水試験:14井:19箇所、一斉測水:最大71井:11回、地層断面図の検討、文献調査・過去資料の収集整理等
			20-22	北北建:地質調査及び観測井:12井、現場透水試験:12井12箇所、工事に伴う既設観測井(19年度以前:柳瀬川合流点付近):7井
		河床(縦断方向)と浅層 地下水の関係把握等	18、20-25	センター:連続観測:立川面(柳瀬川合流点付近):3井、段丘斜面:6井、武蔵野面:13井(18年度:先行1井を含む)
	20-		北北建:連続観測:沖積面(柳瀬川合流点付近):1井、立川面:1井、段丘斜面:3井、武蔵野面:7井	
	河床掘削後の予測等	22	センター:低水流出解析(タンクモデル)等、	
	水源確保等	対策工法等の検討	-	河床粘性土張り等
地下水等の活用*		-	東村山トンネル湧水の導水(御成橋付近)	
工場等の排水活用*		-	M工場の排水	

*:他団体が実施

い河川である。また、流域には古い集落が少ないため民間井戸も少なく、地域的にも偏在している、既存資料や文献が少ない、水文地質構造が複雑であるなど、調査する上でも困難な条件は多い。

「武蔵野面・立川面等の水文環境の把握」「河床(縦断方向)と浅層地下水との関係把握等」については、野川上流域で実施してきた調査手法を空堀川にアレンジして適用した。基本的には、①既存井戸調査を行い、測水可能な井戸の確認し、②公園等の観測井設置可能な箇所を選定し、必要な観測井を設置する。その際には地質調査(標準貫入試験、現場透水試験、電気検層など)を実施し、水文地質構造の解明を図る。③地下水位の一斉測水は、低水位期を重点に高水位期を含めて実施する。④主要な観測井については、地下水位の連続観測を実施し、季節変動や長期変動を観測すること、等である。詳細は既報¹⁴⁾¹⁵⁾を参照されたい。

(3) 浅層地下水位の分布と流れ(武蔵野面)

帯水層中の地下水の状況と流れ方向を調べるため、一斉測水による地下水水面位図を作成した。測水調査は、平成18年度の先行調査も含めて11回(うち高水位期3回)実施した。観測地点数は最大72地点(77井)であり、武蔵野面が約6割、立川面・沖積面がそれぞれ約2割である。観測点はなるべく均等に分布させることが望ましいが、

右岸域は民間井戸が少ないことや観測井の設置可能な公有地が少ないことなどから、左岸域に比べ観測点が少ない状況であった。

高水位期の事例として、平成23年9月23-24日、台風15号(9月21日日雨量:東京124mm、所沢154mm)通過直後の状況を図-20上段に、低水位期の事例として、平成25年3月8日の状況を図-20下段に示した。

1) 高水位期(図-20上段)

台風15号通過による高水位期の事例である。

地下水位は、上流部の丸山橋下流付近で約64m(T.P.)、中流部の新空堀橋(所沢街道)付近で約57m(T.P.)、野塩橋(志木街道)付近で約51m(T.P.)、西武線の東北部で約43m(T.P.)になっている。

地下水位の等高線分布は、比較的単純で、空堀川の流下方向にほぼ直角になり、丸山橋下流付近から野塩橋下流付近までは間隔もほぼ等間隔である。西武池袋線の東北部では、間隔が狭くなり、小さな尾根筋が認められる。

また、等高線の分布から浅層地下水の流れ方向を考えると、方向は南西から北東方向になり、全体的には、空堀川の流下方向に調和的で、平行した流れになっていることがわかる。

次に、地下水位面の勾配についてみると、丸山

橋下流付近から野塩橋下流付近までは1000分の5程度であり、同じ区間の空堀川の勾配とほぼ同じである。一方、西部池袋線の東北部では、等高線の間隔が狭くより大きな勾配になっている。

2) 低水位期 (図-20 下段)

ここ数年で最も地下水位が低い事例である。

地下水位は、上流部の丸山橋下流付近で約61m(T.P.)、中流部の新空堀橋(所沢街道)付近で約55m(T.P.)、野塩橋(志木街道)付近で約50m(T.P.)、西武線の東北部で約40m(T.P.)になっている。全体的な特徴は、武蔵野線東村山トンネルとの近接部を除き、高水位期の分布形態とよく似ており、低水位期の浅層地下水の流れ方向も、空堀川の流下方向に調和的で平行した流れになっていることがわかる。また、地下水位面の勾配も1000分の5程度で、高水位期と同程度である。

一方、武蔵野線東村山トンネルとの近接部では、等高線が複雑になり、58~60m等高線の分布をみると、北北東方向から狭い谷筋が入っていることが認められる。地下水の流れは、この谷筋に集まると考えられ、谷筋の東側の空堀川からもこの谷筋に向かう流れが想定される。

低水位期の地下水位面図は、帯水層の基底(武蔵野砂礫層)の分布形態を反映する機会が多いことから、この谷筋は帯水層の構造を反映している可能性もあるが、谷筋に沿った方向に東村山トンネルがあることから、その影響を受けている可能性も考えられる。

(4) 浅層地下水位の分布と流れ(立川面、沖積面)

柳瀬川との合流点付近の状況は図-21のとおりである。平成23年3月19日の低水位期の地下水位面図である。

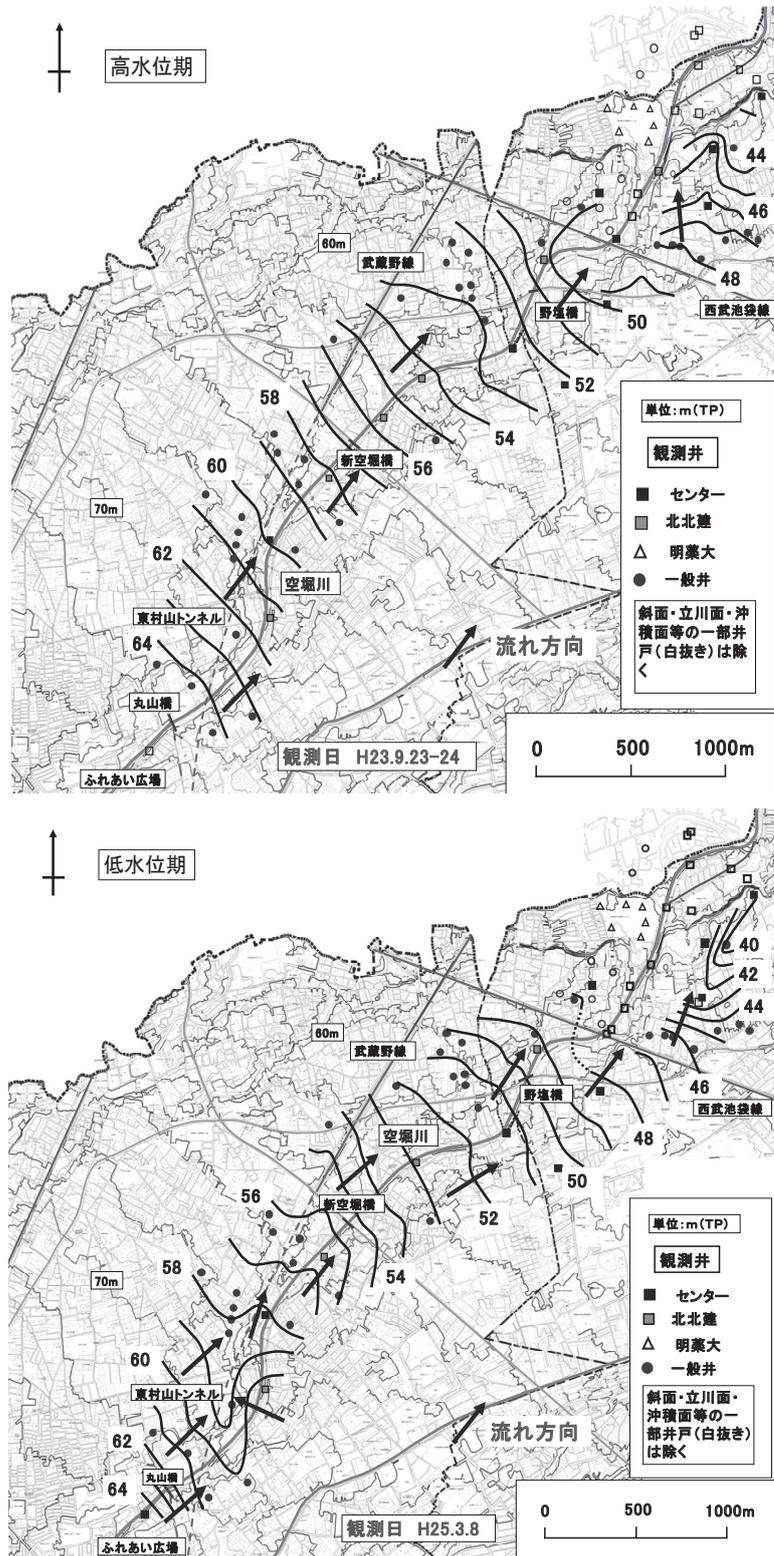


図-20 高水位期と低水位期の地下水の流れ(武蔵野面)

地下水位は明治薬科大学の南西部で42m(T.P.)、境橋上流で36m(T.P.)である。その特徴は、空堀川に沿って、下流側からほぼ南西-北東方向に谷筋が入っており、この谷筋に向かう地下水の流れ

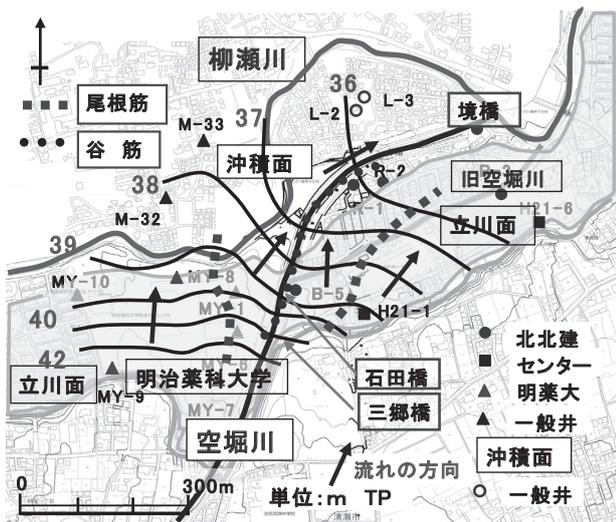


図-21 柳瀬川との合流点付近の地下水の流れ

が考えられる。また、右岸の立川面では空堀川から少し離れた位置に、南西―北東方向の尾根筋が認められる。この尾根筋より崖線側では、地下水の流れは立川面の傾斜方向に調和的になり、立川面本来の流れが読み取れる。一方、左岸側では、等高線がほぼ東西方向になっていることから、地下水の流れ方向は北向きになり、北側を流下する柳瀬川に向かっている。この方向は立川面の傾斜方向とは調和していない。また、空堀川に近い位置に南北方向の尾根筋がある。

以上のことから、この地域は、地下水が空堀川の谷筋に向かっている中央部分と右岸側の崖線下で立川面内の本来の流れの部分、左岸側で柳瀬川に向かう北向きの流れの部分との三つに分かれていると考えられる。

なお、空堀川の谷筋に向かう流れは、柳瀬川との合

流工事によってできた新しい流れの可能性があり、沖積面の流れについても、同じような影響を受けている可能性がある。

(5) 河床高（縦断方向）と浅層地下水位の関係
最上流のふれあい広場付近（H20-1 観測井）から段丘斜面、立川面（B5 観測井）まで、空堀川の縦断方向について、河床高と高水位期・低水位期の関係を図-22 に示した。位置関係は埼玉県との都県境にある境橋を起点に丸山橋付近（5.0km）までである。

武蔵野面についてみると、高水位期は河床高より0.0～0.7m程度高く、低水位期は、武蔵野線東村山トンネルとの近接区間を除き、0.3～1.8m程度低くなっている。高水位期の上昇量よりも低水位期の低下量が大きいことがわかる。

細かくみると、次の3区間に分けることができる。①上流部の武蔵野線東村山トンネルとの近接区間では、低水位期の水位が概ね3m低くなっており、他の区間と比べてかなり低くなっていることから、ひとつの区間として特徴づけることができる。②H18-6 観測井（達磨坂橋下流左岸）から22kbb1（栗木橋付近右岸）付近までの中流区間で

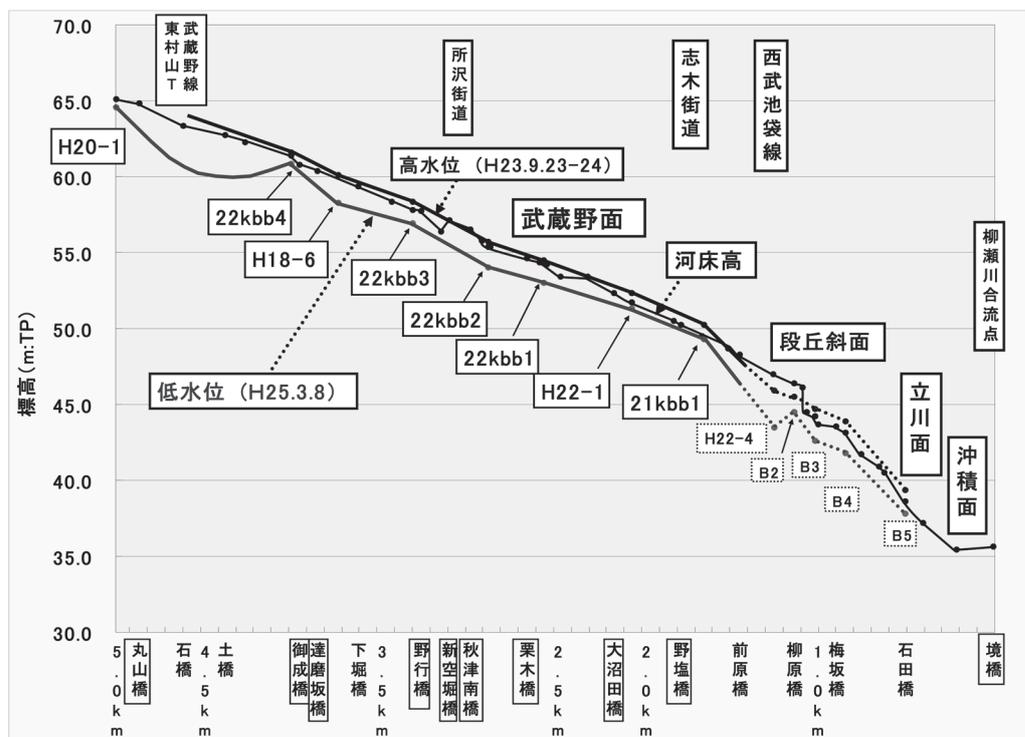


図-22 河床高（縦断方向）と高水位期・低水位期との関係

は、高水位期には、河床より最大 0.5m 程度高くなる箇所が一部にあるが、低水位期には 1.8m 程度低くなっている。③一方、H22-1 観測井から 21kbb1 観測井付近までの下流区間では、高水位期は河床高より 0.7m 程度高く、上流 2 区間より上昇量が大きくなっている。また、低水位期は河床高より 0.4m 程度低く、上流 2 区間より低下量が小さい状況である。

次に、段丘斜面と立川面をみると、段丘斜面上部 (B2 観測井付近) は高水位期と低水位期ともに河床高より低いが、段丘斜面下部 (B4 観測井付近) では、高水位期には河床より高くなっている。また、立川面 (B5 観測井付近) では高水位期の上昇量と低水位期の低下量はほぼ同じである。

(6) 連続地下水位と河床高の関係

地下水位の連続観測は、センター及び北北建が設置した観測井を主体に 27 井で計測している。武蔵野面が約 6 割である。センターと北北建が空堀川沿いに設置している観測井 (武蔵野面 8 井、段丘斜面・立川面・沖積面 5 井) のうち、武蔵野面の事例を図-23 (観測期間：平成 23 年 4 月～平成 25 年 3 月) に、段丘斜面・立川面・沖積面の事例を図-24 (観測期間：平成 22 年 4 月～平成 24 年 3 月) に示した。

河床からの浸透抑制策を検討する上では、浅層地下水位と河床高の高低関係が重要である。長期的な関係をみるため、連続観測記録を元に、地下水位が河床高より高い日数がどの程度あるのか、その割合を調べた。

武蔵野面についてみると、最上流部の H20-1 観測井 (ふれあい広場) では、高い日数は観測日数の 35%程度と高いことから、河床からの浸透抑制策と同時に高水位期の対応策も必要であると考えられる。また、上流部の 18-6 観測井をみると、高い日数は観測日数の 3%程度で僅かである。さらに、中流部の 22kbb1 観測井では 0.1%になり、地下水位が河床高より高くなることはほとんどない、という状況である。

従って、上流～中流区間では浸透抑制策が基本

的に重要であるが、一部に高水位期の対応策が必要な区間もある、ということができる。

一方、下流部の 21kbb1 観測井では、地下水位の高い日数が約 70%とかなり大きいことなどから、河床からの湧出を想定した抑制策、あるいは湧出を活用した対応策が必要な区間ということができ

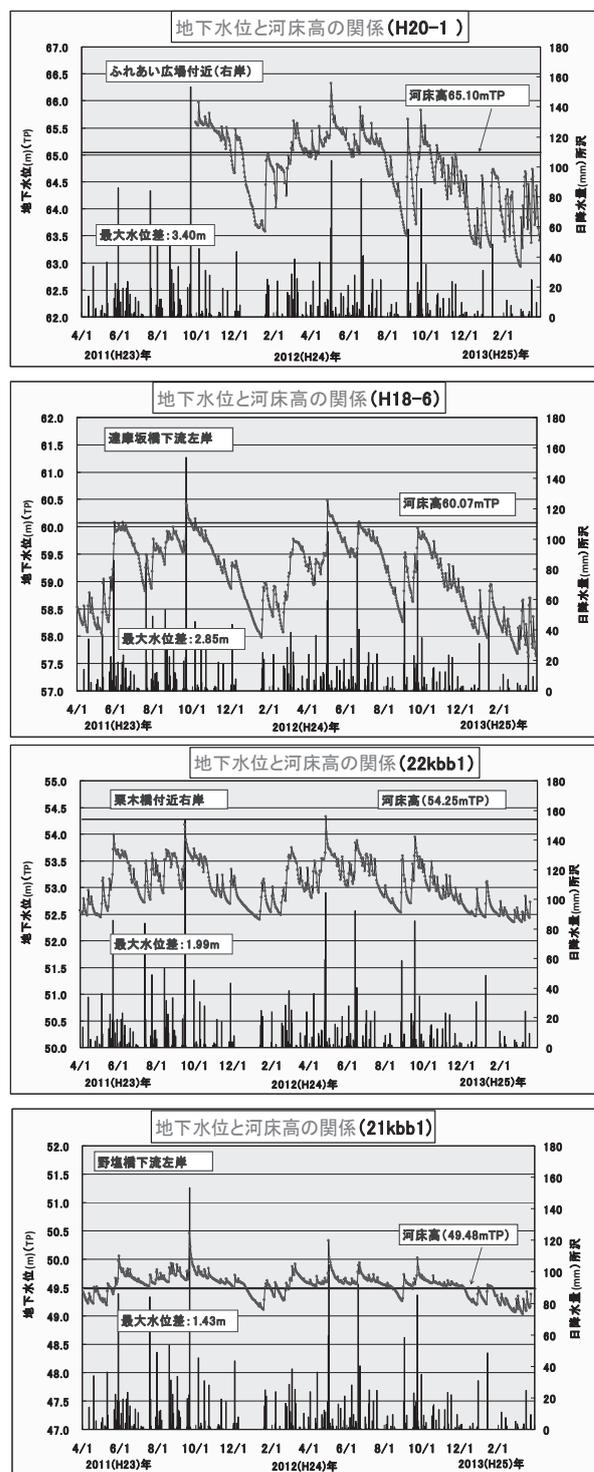


図-23 連続地下水位と河床高 (武蔵野面)

る。

次に、段丘斜面・立川面・沖積面についてみると、斜面上部のB2観測井では、浅層地下水位が河床高より高くなることは通年でほとんどはない、状況である。一方、立川面のB5観測井では河床高より高い日数は約90%と大きくなり、沖積面の境橋観測井では逆に、通年で低く河床高に達することはない、などかなり複雑な状況である。

この地域の対応策を考えると、前述の地下水位と河床高との関係だけでなく、段丘斜面では武蔵野礫層や下位層から浅層地下水などが湧出している箇所があることや河床勾配が大きいことなどの状況を考慮する必要がある。また、沖積面では、

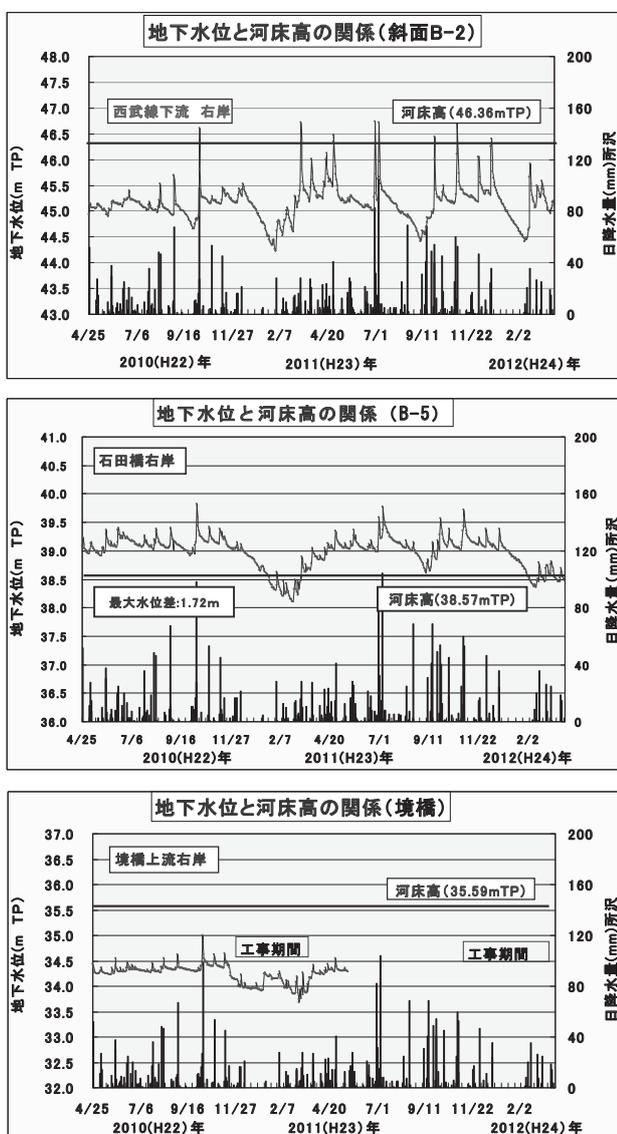


図-24 連続地下水位と河床高(段丘斜面・立川面・沖積面)

地下水位は河床高よりかなり低い状況であるが、河床にはかなりの流量があることから水涸れ問題は少ないと思われる。

(7) 空堀川下流域の調査結果

18年度の先行調査を含め、平成20年度～25年度の7年間の調査結果は次のとおりである。

①上流～中流区間では浸透抑制策が基本的に重要であるが、一部高水位期の対応が必要な区間もある。一方、下流区間では、河床からの湧出を想定した抑制策や湧出の活用策が必要と考えられる。

②浅層地下水の帯水層になる武蔵野礫層の水文地質構造について十分な解明までには至らなかったが、浅層地下水位の分布状況から地下水の流れ方向と空堀川との関係を明らかにすることができた。

③武蔵野面では、高水位期、低水位期ともに、浅層地下水の流れが空堀川の流下方向に平行し、調和的であること、勾配は空堀川と同じ1000分の5程度であることなどがわかった。

④段丘斜面・立川面・沖積面については、地下水位と河床高との関係だけでなく、段丘斜面では浅層地下水などの湧出、河床勾配が大きいこと、沖積面では流量がかなりあることなど、複雑な状況を踏まえた対応策が必要である。

6. 成果の普及・情報共有ほか

本調査開発の「成果の普及・情報共有ほか」は表-4のとおりである。本調査開発の主たる目的は第1項の「水量確保についての局方針や対応策」であるが、調査開発に取り組む過程で、第2項から第5項の「河川事業に対する都民理解の増進」「情報共有による技術力の向上」「情報発信」「情報提供その他」についても大きな課題として、同時並行で進められたものである。

具体的には、野川上流域については、「河川事業に対する都民理解の増進」として、地元的小金井市への資料提供や「環境展」等での展示説明、野川流域連絡会への定例参加と調査成果の発表、また、地元市民団体の依頼に応え、展示会での説明、講演など、平成18年度～21年度に13回実施した。

表-4 成果の普及・情報共有ほか

	野川上流域		空堀川下流域	
1. 水量確保への局方針や対応策	1. 既設河床粘性土張りの効果検証と河床粘性土張りの必要区間を特定		1. 河床高と浅層地下水位の高低関係から浸透抑制策等の必要区間を解明	
	2. 雨水浸透施設等を設置する場合の効果的領域を特定し提案		2. 浅層地下水位の分布状況から空堀川と地下水の流れの関係等を解明	
	3. 揚水実験から深層地下水の活用の可能性を解明			
2. 河川事業に対する都民理解の増進	小金井市環境政策課	19-20年 資料提供1回、展示・説明1回	柳瀬川・空堀川流域連絡会	23年 発表1回
	野川流域連絡会	19-20年 発表2回、展示・説明1回		
	小金井市環境市民会議、都民団体	18-21年 発表4回、展示・説明4回		
3. 情報共有による技術力の向上	北多摩南部建設事務所	19-21年、発表1回、データ提供数回、技術支援数回	北多摩北部建設事務所	20-25年 情報提供3回、技術支援2回
	武蔵野台地部河川の水量確保連絡会(河川部計画課)	18-19年 発表2回		
	野川における水循環・雨水浸透に関する連絡会(都市整備局)	20年 発表2回		
	雨水浸透・湧水保全に関する連絡会(環境局)	21年 発表1回		
	河川部	19.21年 河川愛護デー展示2回		
	センター発表会	16-22年 5回		
4. 情報発信	センター年報、土木学会他	16-22年 年報8回、学会発表3回	センター年報、土木学会他	20.23.25年 年報 3回、学会発表:1回
5. 情報提供その他	観測データ提供等	大学2件、国1件、その他1件		

「情報共有による技術力の向上」は、建設局「武蔵野台地部河川の水量確保連絡会」や都市整備局「野川における水循環・雨水浸透に関する連絡会」等での発表5回、センター発表会7回などである。

また、「情報発信」「情報提供その他」では、センター年報への報告8回、土木学会などでの発表3回である。

空堀川下流域については、「河川事業に対する都民理解の増進」として、柳瀬川流域連絡会での発表1回、「情報共有による技術力の向上」として、北北建への技術支援とデータ提供等、「情報発信」「情報提供その他」として、センター年報への報告3回^{14)~16)}、土木学会等での発表2回¹⁷⁾¹⁸⁾等である。

7. 今後の課題

今後の課題として、野川上流域では、立川段丘面、武蔵野段丘面の主要な観測井の連続観測、定期的な一斉測水、流量観測などを継続的に実施し、引き続き、基礎的なデータを蓄積すること、蓄積したデータを活用して、低水流出解析や水循環解析などを進めることである。また、中長期的には、

観測データの少ない両段丘礫層の直下の地下水位を観測する手立てを図ること、などである。

空堀川下流では、帯水層の水文環境をさらに解明を進めることと、対策工法等の検討を進めることである。また、本調査地域の上流になる空堀川中流・上流域についても、本調査開発と同様な取り組みを進める必要があること、などである。

本年3月に成立した水循環基本法では、河川と地下水との関係を、地球をめぐる大きな水循環の中で位置づけ、流域単位で総合的かつ一体的に管理し、健全な水循環を維持又は回復しなければならない、としている。また、各地方自治体においても、必要な体制の整備を図ること、連携と協力の推進に努めること、とされている。都内の中小河川を対象に、新しい流域的観点から河川と地下水との水文環境を明らかにし、地下水の状況を継続的に把握する取り組みを進めていく必要がある。

最後に、平成15年度～25年まで11年間の長い期間にわたって、様々な形で本調査開発にご協力いただいた井戸所有者・管理者の皆様、関係区市の担当者の皆様、当センターの職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 土屋十圀(1997) : 都市中小河川の水文環境(その1) - 野川の水量の歴史的視点と涵養域、水利科学 No. 235 Vol. 41 No. 2
- 2) 川合将文、石原成幸、川島眞一、國分邦紀(2006) : 野川上流域の水文環境の考察、平 18. 都土木技セ年報、131-142
- 3) 川合将文、清水武博、川島眞一(2007) : 野川上流域における地下水環境と河川水量確保に関する検討、平 19. 都土木技セ年報、35-48
- 4) 川合将文、川島眞一、石原成幸、清水武博(2008) : 野川上流域における河川水量確保に関する検討、平 20. 都土木技セ年報、39-50
- 5) 本谷 勲 編著(1987) : 都市に泉を - 水辺環境の復活 -、NHK ブックス
- 6) 川合将文、國分邦紀、川島眞一、小原利美、石村賢二、長谷川治雄、岡田佳久、真田茂樹、上之原一有(2004) : 多摩河川低水流量観測調査の概要、平 16. 都土木技研年報、423-428
- 7) 川合将文、國分邦紀、川島眞一、小原利美、石村賢二、長谷川治雄、岡田佳久、真田茂樹、上之原一有(2005) : 武蔵野公園付近の水文環境、平 17. 都土木技研年報、185-192
- 8) 石原成幸、川合将文、川島眞一、高崎忠勝(2006) : 野川上流域における地下水・湧水および河川環境、平 18. 都土木技セ年報、221-228
- 9) 石原成幸、國分邦紀、川合将文、向山公人、百瀬荘太郎、榎本亮二、青木大輔(2009) : 野川流域における水文環境、平 21. 都土木技術支援・人材育成センター年報、191-202
- 10) 森康二、多田和広、阪上最一、石原成幸(2009) : 3次元水循環モデリングによる都市河川瀬涸れの発生機構の検討、2009年度日本水文科学会学術大会要旨集
- 11) 國分邦紀、石原成幸、川合将文(2010) : 野川上流域における湧水と水循環解析、平 22. 都土木技術支援・人材育成センター年報、143-148
- 12) 川合将文、川島眞一、秋山浩文(1992) : 北多摩地区南東部の水文地質、平 4. 都土木技研年報、213-222
- 13) 東京都(2006) : 柳瀬川流域河川整備計画(東京都管理区間)(平成18年3月)、1-1
- 14) 川合将文、清水武博、川島眞一(2011) : 河川の水量確保を目的とした空堀川下流域の地下水環境調査、平 23. 都土木技術支援・人材育成センター年報、139-146
- 15) 川合将文、高橋賢一、山田泰三(2013) : 河川の水量確保を目的とした空堀川下流域の地下水環境調査(2)、平 25. 都土木技術支援・人材育成センター年報、157-166
- 16) 杉原大介、高崎忠勝、岩屋隆夫(2008a) : 空堀川流域の長期流出特性の解析、平 20. 都土木技セ年報、191-198
- 17) 杉原大介、高崎忠勝、岩屋隆夫(2008b) : 空堀川流域の長期流出特性の解析、平成20年度土木学会第63回年次学術講演会要旨集
- 18) 杉原大介、高崎忠勝、岩屋隆夫(2009) : ストレーナーを用いた河床下の水の観測について、平成21年度第22回水文・水資源学会研究発表会要旨集