

都市河川流域における地下水位変化 と河川の固有流量

Relationship between Fluctuation of Unconfined Groundwater Level
and Base Flow in Urban River Basing

土屋十圓*・和泉 清**

By Mitsukuni TSUCHIYA and Kiyoshi IZUMI

We observed amount of flow at the sametime for 32 rivers existing on the Musashino plateau. Specific discharges were obtained each rivers, and Urban river was divided according to characteristic of catchment area. We observated of unconfined groundwater level at typical urbanized catchment area of Zempukuji river. This report provides comparative study of this time observed results and already reported results of about 25-50 years ago, and this report provides a comparative study of dry season and rainfall season of unconfined ground water level. The result that base flow of Zempukuji river during the last twenty years, the relationship between urbanization and unconfined groundwater levels, was obtained actually.

Keywords : urbanization, unconfined groundwater level,
annual lowest groundwater level, base flow

1. はじめに

都市中小河川は市街地化に伴い河川流量の涸渇化が問題となっている。都市部においては下水道の普及とともに、平常時の河川流量を構成していた家庭排水の減少によって河川の固有流量が明らかになりつつある。¹⁾しかし、中小河川においては経年的なデータも乏しく都市化との関係を十分に説明するまでには至っていない。本報は、東京都内の台地及び丘陵地を流れる32の河川で同時流量観測を行い、各河川毎に比流量を求め流域特性の分類を行った。また、都市化された代表的な善福寺川流域において民間の井戸の水位(不圧地下水位:以下、地下水位と呼ぶ)の一斉観測調査を行い、昭和10年代の吉村らの調査²⁾など過去2回実施されている地下水位観測調査結果をもとに都市化と地下水位の経年的変化について検討を行った。更に、渇水期と降雨期における地下水位の変動について比較検討を行った。善福寺川においては地下水位と河川水位の水位差の関係から河川の固有流量を推定した。

2. 都市中小河川の比流量による分類

比流量は流域面積、河川勾配、流路延長などと並んで河川の基本的な諸元である。都市河川では流域の規模と特性が共通しているため比流量は余り調査されていない。東京都内では、1987年度現在で下

* 正会員 工修 東京都土木技術研究所技術部主任研究員

** 正会員 東京都土木技術研究所技術部総括主任研究員

(〒136 東京都江東区新砂1-9-15)

水道の普及率が区部で87%、多摩地区で70%の段階である。これを考慮すれば各河川の現在の比流量は固有流量に近いものと考えられ、“水量の豊さ”を示す指標になるものと考えられる。図-1には流量観測を行った河川と観測地点を示す。観測の時期は河川流量のもっとも少ないと考えられる2月と降雨期で地下水位が高くなると考えられる9月のいずれも無降雨日において1987年に実施した。観測結果の2月と9月の平均値流量から低水比流量及び流出高を求め、低水比流量と流域面積の関係及び河川毎の流出高を図-2に示した。

この結果、都内中小河川の比流量は $0.04\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$ 以下のグループとこれ以上のグループに分けられる。比流量が $0.04\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$ 以上のグループの中で程久保川、落合川、山田川は流域面積が小さいけれど比流量は多い。未だ、家庭排水の流入か湧水由来の固有流量が多い河川と考えられる。

次に、流域面積を考慮するとこれらの河川は、概ね、3つのグループに分けられる。第一に、秋川、日原川、浅川等多摩の山地流域に見られるように流域面積は大きいが比流量には乏しいグループ。第二に、既成市街地あるいは流域開発の途中にあると考えられる河川グループには石神井川、善福寺川、大栗川、谷沢川等23河川が含まれる。比流量も流域面積も小さく都市中小河川の典型的なグループと言える。第三に、程久保川、落合川、山田川、鶴見川等5河川で流域面積が小さい割には比流量が大きく、今後、維持流量の保全が望まれるグループと考えられる。但し、神田川についてはこの観測地点の流量は下水処理場からの放流量が含まれているので第三のグループに入っているが放流量をカットして考えると第二のグループに入ることになる。ところで日本の河川では安定的な基底流量は流出高で約 $1\text{mm}/\text{day}$ 、比流量では約 $1\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$ といわれている。³⁾1日に 1mm の流出高は 1Km^2 の流域からは日量 1000m^3 、 100Km^2 の流域からは1日に 10万m^3 の流出量になる。本調査の結果を見ると、流出高では $1\text{mm}/\text{day}$ 以上の河川は台地及び丘陵地を流れる32の河川中、66%に当たる21の河川であった。

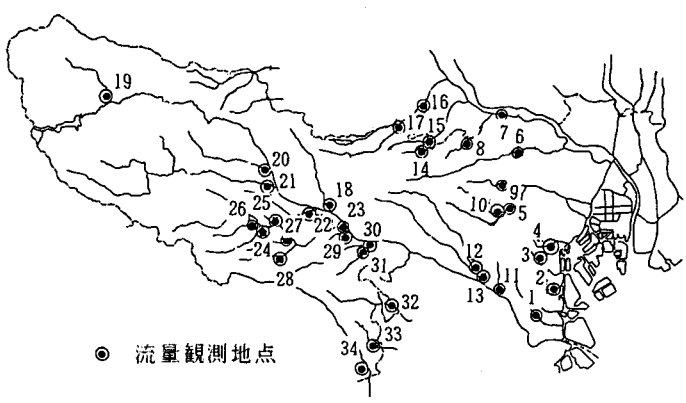


図-1 調査対象河川

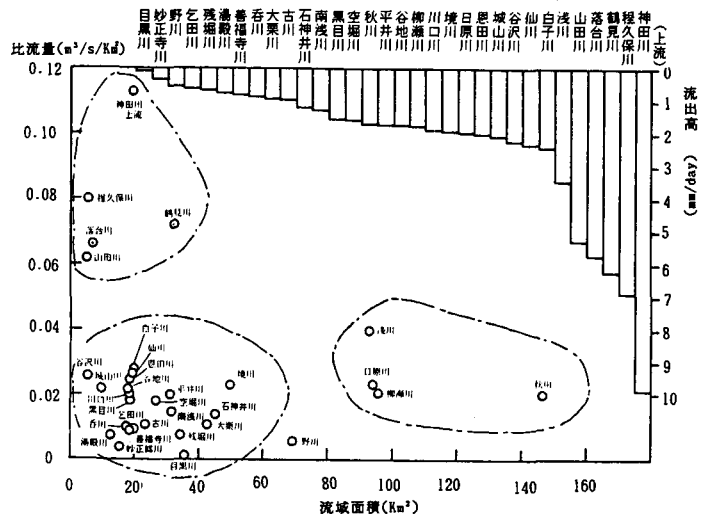


図-2 低水比流量と流域面積

3. 善福寺川流域にみられる地下水位変化

3.1 流域の概要と地下水位調査

次に、前章での比流量と流域面積の検討のうち、典型的な都市河川グループの中から流出高が1日1mm以下であり、過去の観測データが比較的整っている善福寺川を対象として検討した。

善福寺川流域には現在、日常的にはあまり利用されていないが防災用井戸として民間の浅井戸が多数分布している。杉並区1,113箇所、練馬区587箇所、武蔵野市202箇所計1,902箇所存在していることが分かった。このうち、善福寺川流域にある井戸は約590箇所である。現地踏査を行い観測可能な70箇所の井戸を抽出した。観測日は1988年11月4日~5日(降雨期)及び1989年2月2日~3日(渇水期)の2回、無降雨日に一斉観測を実施した。ここでは、浅層地下水は秋雨期の影響を受け上昇しているため降雨期とした。観測方法はNP水位計を使用した。なお、浅井戸の深さは7m~10m前後であった。

また、善福寺川流域の概要は流域面積18.3Km²、河川延長10.5Kmである。流域の地形、地質は武蔵野台地であり、水平に近く、善福寺川によって細く開析されている。表層は火山噴出物が堆積したもので関東ローム層と呼ばれ地下水を透過させやすく、層厚は4~5mである。その下に、砂、砂礫層が10~15m程度続き、更に、不透水性の粘土層が存在する。この粘土層より上部に滞水する地下水は不圧地下水となっている。⁴⁾土地利用の変遷は図-3に示すように昭和初期の段階で、既に、流域全体の47%が市街地化されており、昭和60年代初期には94%に達している。畑地、公園等は6%程度に過ぎない状況である。

3.2 地下水位の降雨期と渇水期の変動

善福寺川流域における渇水期と降雨期における地下水位分布を図-4に示す。実線は渇水期、点線は降雨期である。地下水位の傾きは善福寺川に沿って南東方向に傾きを持っている。善福寺池付近から環状七号線までの地下水位勾配を見ると上流域で勾配は緩く約1/66

0、下流域で約1/400とやや急勾配となっている。流域全体では渇水期が2.5/1000、降雨期が2.2/1000となっている。降雨期と渇水期を比較すると、渇水期はAP+42mラインが河道に沿った周辺で上流に500m程移動している。また、AP+40mラインでは300m、同様にAP+30mラインでは100m各移動していることが分かる。渇水期は降雨期に比べAP+42mラインで1m程度の水位低下を示し、下流域になるに従い低下の幅は小さくなっていることが分かった。観測を行った各井戸の降雨期と渇水期の流域全体の平均水位差は0.217mであり、降雨期が高い。この平均水位差の値は観測を行った1988年の8~9月は前年に比べ降雨量が多かったため10~11月に地下水位は前年より高い位置にあり、この影響を受け渇水期の地下水位は前年の渇水期より高い水位となっていた。このため、降雨期と渇水期の平均水位差が前年より小さい状況にあった。善福寺川流域のように市街地が95%と典型的な都市化が既に進んでしまっている流域においても降雨による地下水位変動が大きいことが確認できた。

3.3 地下水位の経年的な変化

善福寺川流域及び妙正寺川流域付近は1938年~1939年にかけて吉村の研究によって井荻・天沼地下水堆の存在が明らかにされている。⁵⁾図-5に示すように、この地下水堆の規模は武蔵野台地最大で、長さ3.5Km、幅1Kmに達している。善福寺川と妙正寺川に挟まれた台地の地下水面は隆起し、河川水面より

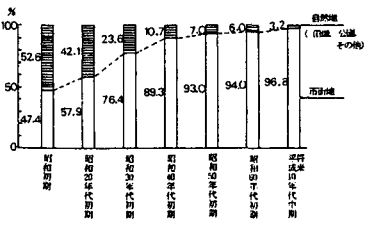


図-3 土地利用の変遷

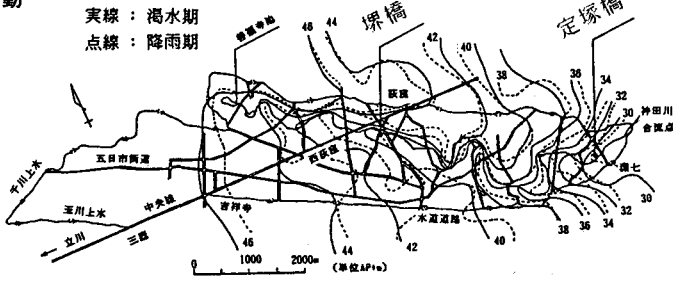


図-4 渇水期と降雨期の不圧地下水位分布

最も高いところで7-8mも地下水面が高いことが分かっている。従って、この周辺に存在する善福寺池、妙正寺池、天沼弁天池はローム層の下の方礫層からの湧水によって涵養されていたものと考えられる。現在でもこの地下水堆の中心より500m付近の南西にあたる原寺分橋地点では日流量1550m³の湧水を観測している。⁶⁾

善福寺川流域の地下水位に関する調査は、本報も含め1938年~1939年(吉村による)、1963年⁷⁾、1973年⁸⁾と過去50年間に4回渇水期の観測が行われている。これらの調査結果にいて地下水面の経年的変化を図-8に示した。この期間の水位変化をみると、1938年から約25年間ではTP+42mラインが善福寺池の下流から上流に移動し、水位低下がみられる。これは善福寺川流域の1930年代から1960年代の30年間に市街地面積は約80%増加しており、既に流域の約90%に達していたこと等、土地利用の変化が関係していたものと考えられる。しかし、地下水堆の形状には、大きな変化は見られない。また、1963年から1973年までの間に地下水堆は緩く崩れてきているものの、TP+44mのラインに見られるように下流側に約1km移動しており地下水位が回復傾向にあるものと推定される。この要因は揚水量の規制による被圧地下水位の長期的な回復現象の確認⁹⁾等を考えれば浅層地下水も回復傾向にあるものと考えられる。

4. 地下水位変化と固有流量

善福寺川流域では図-4に示した堺橋、定塚橋の2地点で河川水位とその護岸近傍の堤内地において地下水位の観測を行っている。図-7には1968年以降観測した堺橋地点での年最高、年最低の地下水位変化と年間降雨量である。同時に、神田川合流部に近い朝日橋地点の低水流量とこの流域の下水道普及率の変化を示した。下水道普及率の向上とともに低水流量は20年間に約1/6に減少している。

一方、固有流量をもたらすと考えられる地下水位の変化を見ると年最高水位は年降雨量の多寡によって大きく影響し、1973年、1978年、1984年の渇水年には低下して、年最低水位の変化は1969年から1979年ころまでは微減の傾向にあったが長期的には一定と見てよい。年最低水位は渇水年に当たっても殆ど影響がないと考えられる。

従って、都市化の代表的な指標として下水道普及率、不透透域の拡大などが上げられるが、主に、河川の流量低下は下水道の普及によってもたらされたと考えられる。即ち、100%近い下水道普及率に達し、家庭排水等が取り除かれたと考えられる1985年以降の低水時の流量が固有流量にほぼ近いものと

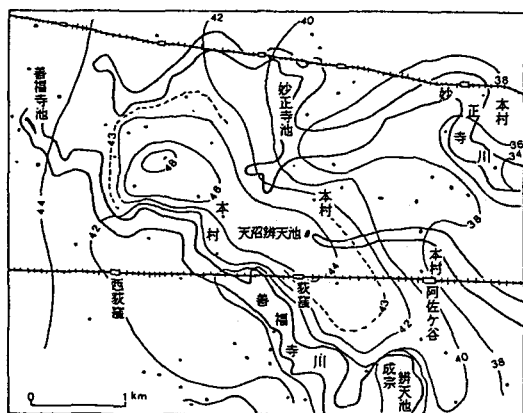


図-5 井萩・天沼地下水堆の地下水面(m)

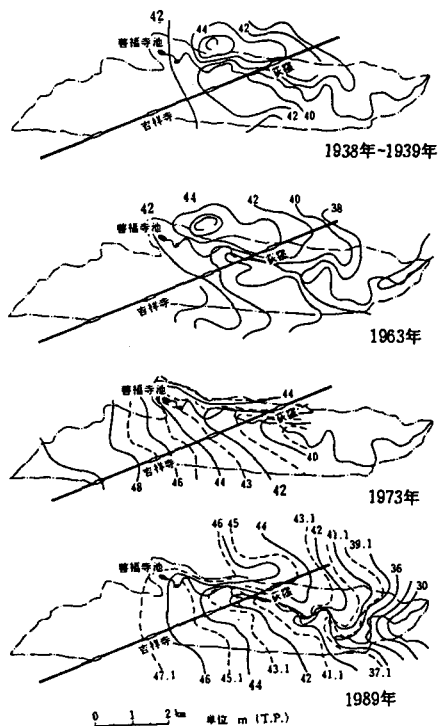


図-6 善福寺川流域の不圧地下水面の推移

考えられる。武蔵野台地の他の7地点において浅層地下水の長期変動調査が行われているが、長期的には年最低地下水位は変化が見られていない。¹⁰⁾ 従って、善福寺川における固有流量は現在の低水時流量の約0.20m³/sと考えられ、20年前もほぼ同程度の流量であったものと推定される。

5. 河川水位と地下水位変化からの固有流量の推定

図-8に定塚橋における観測位置と河道断面を示す。図-9には、同地点で1988年に観測した河川水位、地下水位及び降雨量を示す。

地下水位は河川水位より常に高く、最大値でAP+33.01m最小値でAP+31.14m、年平均値でAP+31.34mであった。河川水位の年平均値がAP+30.74mであり、地下水位との差は0.60mであった。同様に、上流部の堺橋地点においてはその差は年平均値で0.71mであった。

どちらの地点においても渇水期に当たる2月の平均値で地下水位が河川水位より高いことが確認できた。そこで、固有流量を考える場合、年間の地下水位の変動のうち渇水期間には必ず年最低地下水位が出現する。湧水として長期に流出する成分はこの最低水位（基底水位）の上に乗る降雨期の平均的な地下水位との差によるものと考えられる。

この考え方によると、1988年の湧水流出のための有効水頭差は堺橋地点0.46m、定塚橋地点0.19mとなり、平均値で0.33mとなる。そこで、河道断面図、地質柱状図から流出可能な断面と考えられる砂礫層部を決め、Darcy則を適用し、湧水流出量の推定を行った。計算の結果、湧水流出量は約0.350m³/sとなった。

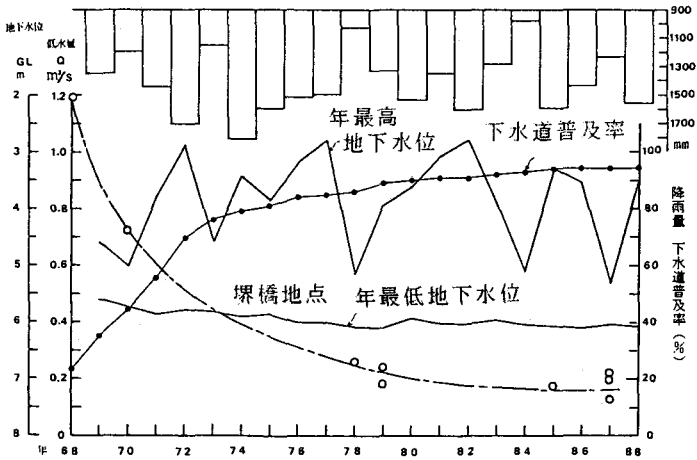


図-7 善福寺川の経年的な低水流量と地下水位の変化

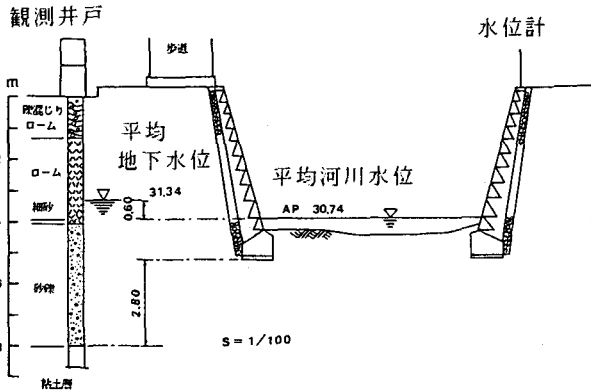


図-8 観測位置と河道断面(定塚橋地点)

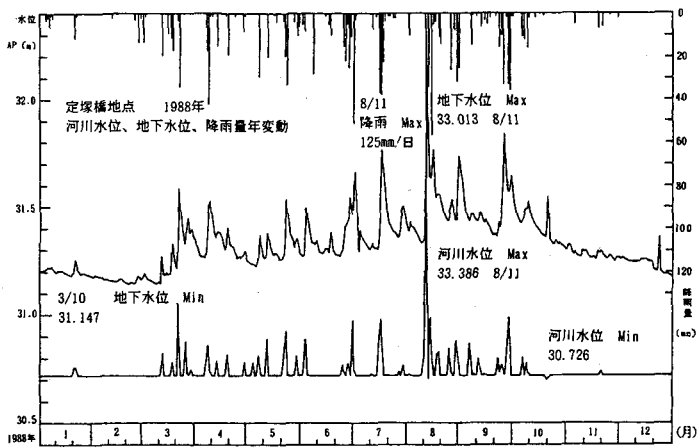


図-9 地下水位、河川水位の変動(定塚橋地点)

この結果は図-7で示した現在の低水流量約 $0.20\sim 0.25\text{m}^3/\text{s}$ にかなり近い値となっている。推定計算値が大きいのは湧水の流出可能な断面が大きかったものと考えられる。なお、多摩地域における粘土層から深層への漏水量について国分らの調査¹¹⁾では $0.108\text{m}^3/\text{s}$ (流出高で $0.51\text{mm}/\text{day}$)程度と報告されている。

6. まとめ

本報を要約すると以下の通りである。

比流量と流域面積の関係から都内の河川を3つに分類することができた。即ち、1)流域面積は大きい比流量に乏しい秋川、浅川など多摩地域の山地河川、2)流域面積も小さく、比流量も乏しい平井川、大栗川、石神井川などの都市型河川、3)流域面積は小さいが比流量では $0.06\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$ 以上であり、都市型河川への移行期にあると考えられる落合川、山田川、程久保川などの河川に分類することができた。今後の河川の親水維持流量を検討するための資料とすることができた。

また、都市化がほぼ完成した善福寺川流域を例として1930年代から約50年間の長期にわたる渇水期での地下水位変化について都市化との関係で現象を説明することができた。即ち、地下水位面の50年間の変化は1938~39年の吉村の研究によって明らかにされた井荻、天沼地下水堆は1963年までの約25年前までは大きな変化は見られなかった。しかし、1973年を境に地下水堆は緩く崩れ、善福寺池あるいは上流の河道に沿った周辺で地下水位の低下が見られた。

更に、市街地化がほぼ完了している善福寺川流域においても降雨期と渇水期による地下水位の変化を面的な変動として把握することができた。善福寺川の地下水位と河川水位の関係及び過去の流量観測から固有水量の推定を行った。その結果、都市化に伴い、この20年間は下水道の普及に伴う雑排水の減少が支配的であり、必ずしも固有流量の減少とは言えないものと考えられる。善福寺川においては、固有流量はこの20年間で大きく変化せず最低でも約 $0.20\text{m}^3/\text{s}\sim 0.25\text{m}^3/\text{s}$ と考えられる。

最後に、本報をまとめるにあたって、杉並区には地下水位観測等でご協力をいただきました。あらためて、お礼を申し上げます。

(参考文献)

- 1) 土屋十朗、和泉清：都市河川流量の涵渇化と河川近傍の地下水位変化、水文・水資源学会研究発表会要旨集、pp.130-132、1989
- 2) 吉村信吉：武蔵野台地の地下水、特に、宙水地下水瀑布線、地下水堆と集落発達との関係、地理教育、vol.32、pp.20-42
- 3) 菅原正己：流出解析法、水文学講座、共立出版、pp.121-124
- 4)、5)は2)と同様
- 6) 東京都環境保全局：東京の湧水、pp.47-72、1989
- 7) 東京都土木技術研究所：杉並区、善福寺川流域における地質調査報告書、地質・地下水位調査報告集、都土技研資料39-4、pp.75
- 8) 東京都杉並区土木部計画課：善福寺川に関する地下水調査報告書、1973
- 9) 国分邦紀：多摩地域の不圧及び被圧地下水の変動特性、東京都土木技術研究所年報、pp.363-370、1998
- 10) 徳善 温、中山俊雄他：山の手台地の浅層地下水変動について、東京都土木技術研究所年報、pp.203-219、1977
- 11) 9)と同様