平24.都土木技術支援・人材育成センター年報　ISSN 1884-040X
Annual Report
C.E.S.T.C., TMG 2012

14. 丘陵造成盛土地における路面湧水と地下水について

The characteristics of groundwater level fluctuations and spring water from the pavement in reclaimed ground on Tama hills

技術支援課　國分邦紀、中山　哲、川合将文、田中輝栄

1. はじめに

丘陵地内の谷埋め盛土地盤内に造られたある道路面において、大雨の後しばしば湧水が路盤内から噴出して路面を流下し道路交通にも支障となり、原因究明と出水対策のため地下水調査を行った。この報告は、対象地において地下水位の長期連続観測（約 3 ヵ年）を行い、明らかになった水文学的特徴について述べたものである。

2. 地形及び地質

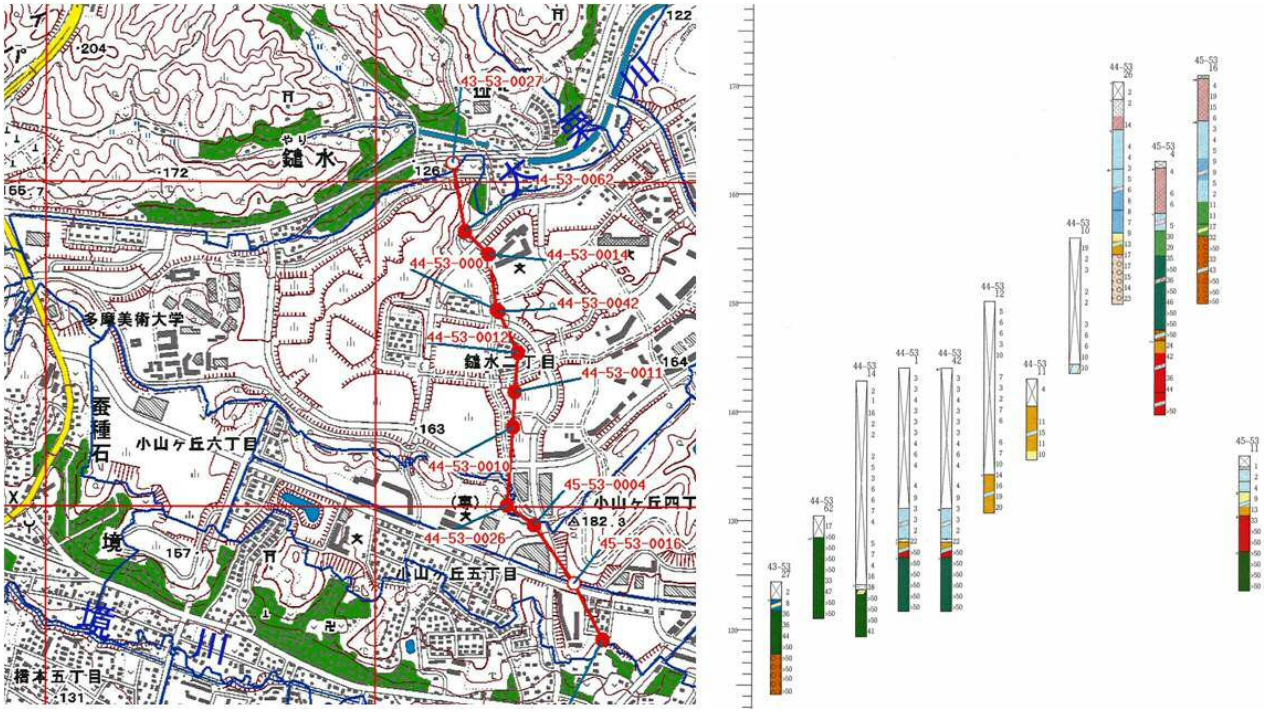
対象地域は多摩丘陵の樹枝状に入り込んだ大栗川の源流域の谷戸を埋め立てた丘陵造成盛土地にある。標高は大栗川の川沿いで T.P.128m、南側の境川との分水嶺付近で約 T.P.170m に及ぶ（**図―1**）。

多摩丘陵の地質については過去多くの研究者による報告があり明らかにされている[1)、2)]。それらによると、その基盤は第三紀の海成層（いずれも砂岩、シルト、泥岩あるいはそれらの互層）であり、下位から大矢部層、平山砂層、連光寺層と呼ばれる。これらの第三紀の砂層の上に御殿峠礫層が不整合に重なる。御殿峠礫層の礫は大型の風化礫で、礫層の厚さは 10m から 15m に達するものもある。礫層の上部はローム層で覆われている。また水文地質学的には、上総層群中の粘土・シルト層と関東ローム層下部の古期ローム層（多摩ローム層など）は難透水層で、上面の砂層、砂礫層や新期ローム層からなる透水層に地下水が分布し帯水層を形成している。谷頭の湧水の位置は地層分布に支配され、その影響で谷頭窪地や谷戸などが分布している。

地形・地質の概要は以上のようであるが、「大規模宅地造成地の地盤改変図」[3)] によると対象地域は 10m内外の大規模な切土・盛土による宅地造成により土地改変がなされている場所であることが特徴である。

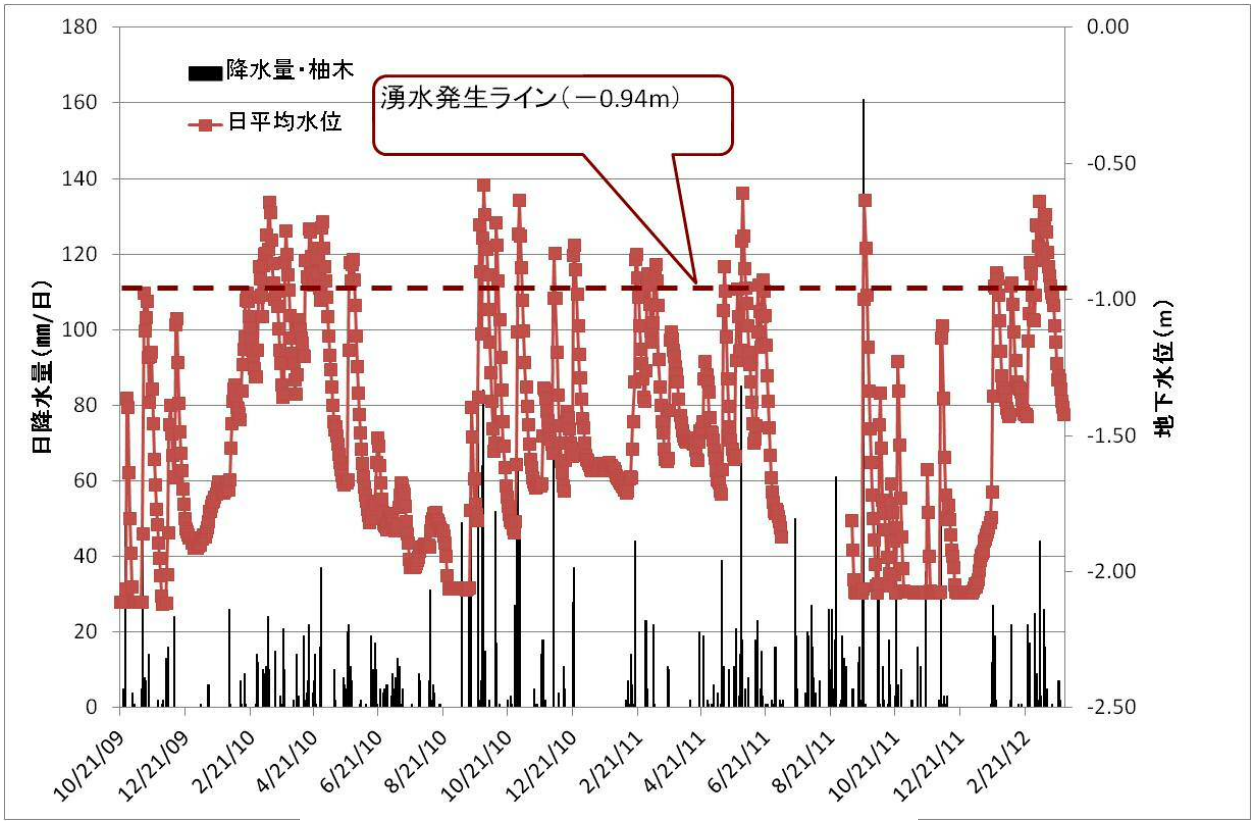
盛土地の地質は、地表から盛土（粘性土）約 1.6m、粘土質ローム約 1.0m、凝灰質シルト 3.8m、泥岩（不透水層）1.3m、浮石砂 1.2m、細砂 1.5m、泥岩 2.5m と続く地層構成である。地下水位は浅く、地表から 2.0m 内に位置する。盛土地盤は締め固められているため、透水性は周辺の地山の透水係数より小さく、地山から流入する地下水の浸

図―1　位置図



図－2　地質柱状図位置図と対比図

透・流出を妨げる作用をしていると想定される。図中に示した矢印は地下水の想定される流れで 3 方向から出水箇所に集まってくる。**図―2** に南北方向の地質柱状図位置図と対比図を示す。対比図の一番左が北端の大栗川地点、2 番目が対象地付近、一番右が分水嶺を越えた南端の境川流域地点の柱状図である。大栗川方向に向かう北側の斜面が谷戸を10数mの厚さで盛土して造成された地盤であることが見てわかる。



図－3　日地下水位変動図

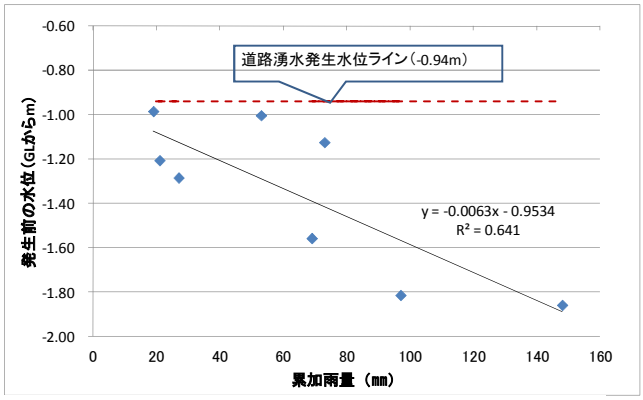
3.　地下水位変動の特徴

谷戸造成盛土地内のボーリング孔内に水位計を設置し、地下水位の長期間連続観測を行った。観測井は井戸底までの深さ約2.1mである（図－1の●印）。**図－3**は2009年10月から2012年3月末まで約2年5ヶ月の日地下水位変動図である。降雨に対する水位変化の応答は敏感で水位上昇と下降が急であり、みかけは鋸歯型の水位変動形態を示している。降雨の多い夏季から秋季にかけて水位が高く雨の少ない冬季は水位が低いのは一般的であるが、夏季でも無降雨状態が続くとすぐに水位が底をついてしまう様子がわかる。この期間の最高水位は管頭（ほぼ地表面基準）から－0.64m、最低水位は－2.12m、水位の年変動幅が約1.5mと小さく、また地表からごく浅い地下水である。なお表層土質の透水性が悪く地表湛水がしばしばみられる。また、路面湧水は現地観測結果から－0.94m より浅くなったとき生じることがわかっている（図中に示したライン）。この観測結果から観測水位期間 890 日のうち出水発生が予測できる日数は計 91 日間で全体の 10%に及ぶことがわかった。

(1)　一雨雨量（累加雨量）と発生前地下水位

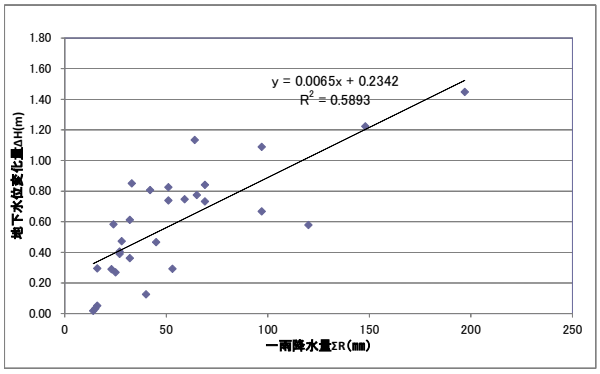
路面湧水は、地下水位が高い時は少ない雨量でも出水が生じ、逆に低い時はより多い雨量で発生する。すなわち雨量の多少によって大きく違いがある。そこで出水確認時の累加雨量と発生前地下水位の関係を整理した。結果は**図－4**のとおりで、地下水位がGL－1.10mほどでは20㎜程度、GL－1.90mほどの状態では150㎜程度の雨量で出水することが予測できる。

(2)　降雨と地下水の関係



図－4　路面湧水発生時の累加雨量と発生前水位

自由面地下水の場合、降雨と地下水位の関係を整理



図－5　一雨降水量ΣRと地下水位変化量ΔH

することで地下水理特性についてかなり解明できる。鏈水の場合について連続降水量（一雨降水量）ΣRとΔHの関係を整理したのが**図－5**である。水位が浅いため降雨応答が早く、日量10数㎜の雨でも水位上昇が観察される。ここで流出率 f に高橋らが過去に求めた造成地の流出率0.7を使用することにすると、Pa≒0.05でローム層の有効間隙率の値に近い[4)]。なお、この場合の連続降水量 R の期間は降雨日が続けば長くなり、何日間になるかは降雨形態によってさまざまである。

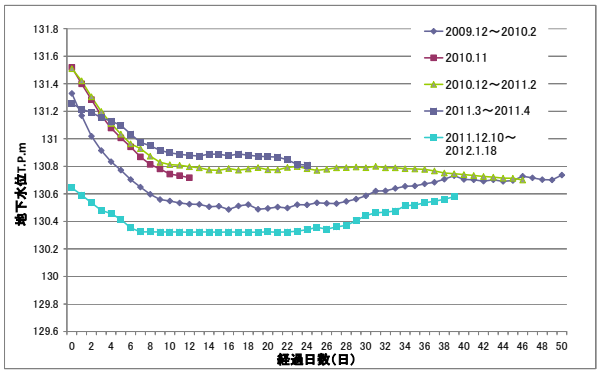
(3)　無降雨状態時の地下水位変化

次に無降雨期間の地下水位低下状況について調べた。すると測定期間中には10日間以上の無降雨状態期間がいくつかみられた。以下の 5 ケースは、期間中にまったく降雨がないか、あっても少量（日量5㎜以下）で、水位上昇に影響がないと考えられる時期の水位変化グラフである（**図－6**参照）。

① 2009年12月13日～2010年2月1日（12/17に0.5、1/13に5.5㎜の降雨）

② 2010年11月3日2010年11月15日（無降雨）

③ 2010年12月24日～2011年2月8日（1/25に0.5㎜の降雨）



図－6　無降雨期の地下水位変化

④　2011 年 3 月 25 日～2011 年 4 月 18 日（4/12 に 1.0 ㎜の降雨）

⑤　2011 年 12 月 10 日～2012 年 1 月 18 日（無降雨）

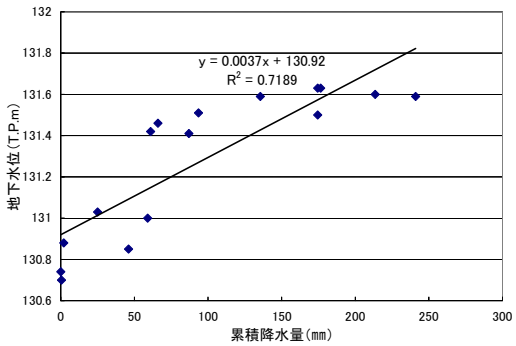
浅層地下水の場合は通常、降雨が終了し無降雨状況が続くといったん上昇した地下水位は低減していく。図からはいずれの場合も降雨終了後10日後位までに水位は基底水位に近づき、その平均地下水位低下速度は図から約 0.07m/日ほどを示している。したがって、この地域では降雨があっても10日も経つと地下水が流出して土壌中に保留される地下水は少ないと考えられる。

しかしよく見ると、①や⑤のケースでは降雨がないにもかかわらず低下後しばらくして再び水位上昇に転じている。地下水くみ上げや涵養の影響を受けての地下水位変化はこの周囲ではまったくないと考えられるため、なぜ水位上昇をするかはこれだけでは不明である。

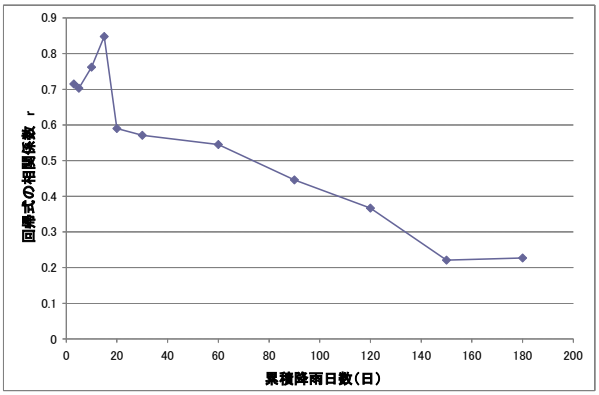
(4) 累積降雨日数と地下水位

筆者は以前、武蔵野台地の地下水解析の際に、降雨がないにも係らず水位が一方的に上昇傾向にあったりするケースがときどきみられたことを指摘した[5)、6)]。そのとき、この原因をローム層が厚く堆積する土壌帯の存在にあると考え、土壌保留水分が地下水位に及ぼす影響が長期にわたるため考える水位以前の降雨期間を何日間にとるかで、降雨と水位の相関係数が異なると考え、最適降雨期間を求めた。このとき野川流域では累積降雨日数が100～140 日で水位の相関が高い傾向を示した。

今回も地下水位が何日前までの降雨の影響を受けているかを、累積降雨期間雨量と水位の一次直線回帰を行うことによって整理した。具体的には、考える水位



図－7　15 日間累積降雨と地下水位



図－8　累積降雨日数と回帰式の相関係数

の前の降雨期間を何パターンか変化させ、対象日 3 日前、5 日前、10 日前、15 日前、30 日前、60 日前、90 日前、120 日前、150 日前までと、累積降雨期間を長くとっていき、その累積降雨期間雨量と水位の相関をとることにより行った。その結果、15 日前までの累積降雨と水位の相関がもっとも高い値を示した（**図－7** および**図－8** 参照）。

(5)　地下水位のフーリエ解析

次に地下水位変動の長周期の周期性を明らかにするためフーリエ解析を行った。（担当：中山哲）

①　地下水位のデータをフーリエ解析し、主要な周期を見出し、主要な周期のみで再合成した。一部、欠測期間があるので、その期間を-2.11m という最低値で補って 21384 個、2.44 年間をフーリエ解析したもの、欠測になるまでの 15000 個、1.71 年分をフーリエ解析したものの両方を求めた。

②　はじめは、Excel により、高速フーリエ変換 FFT でフーリエ解析していたが、2 のべき乗個のデータで、最大データ数は 4096 個、170.67 日分、1 時間おきで 341.33 日分、0.93 年分、2 時間おきで 682.67 日分、1.87 年分というように、データ数に規制を受けることがわかった。有限フーリエ解析なら、データ数がどのような個数でも計算できるので、最終的には、有限フーリエ解析で計算した。

③ プログラムは、大崎順彦 1976 と 新版 1994 を一部変形し計算した[7)、8)]。1 時間おきに読み込む部分を自作、フーリエ係数 A と B の計算部分 SUBROUTINE FOUC を、大崎によった。Fortran は、Compaq Visual Fortran Professional Edition 6.60（2000）により

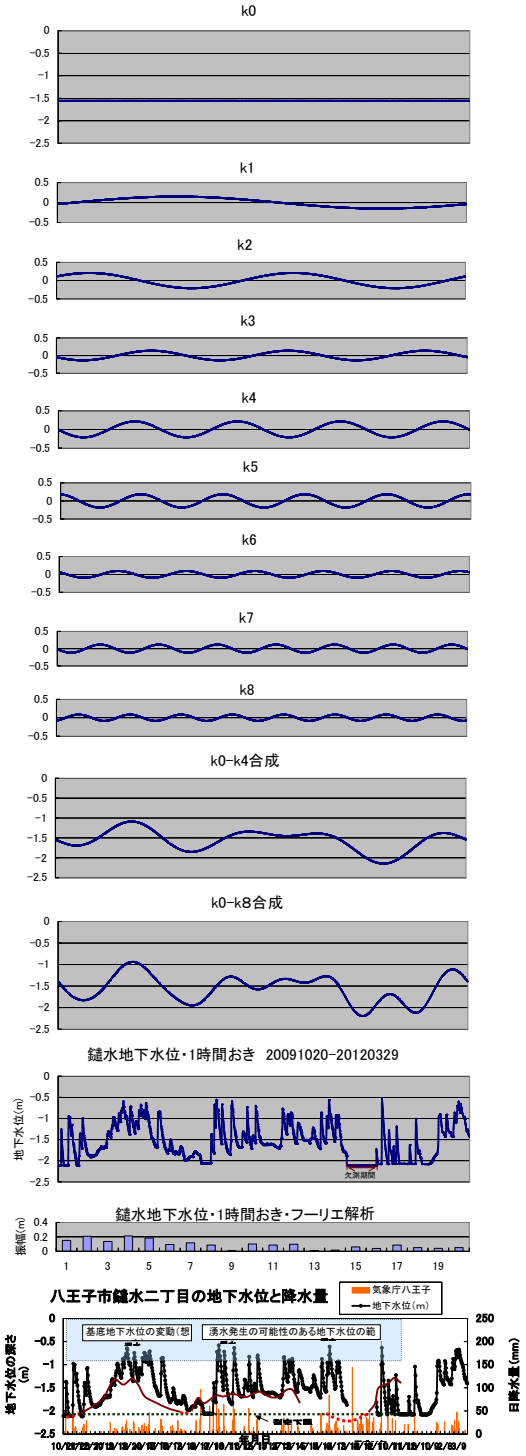
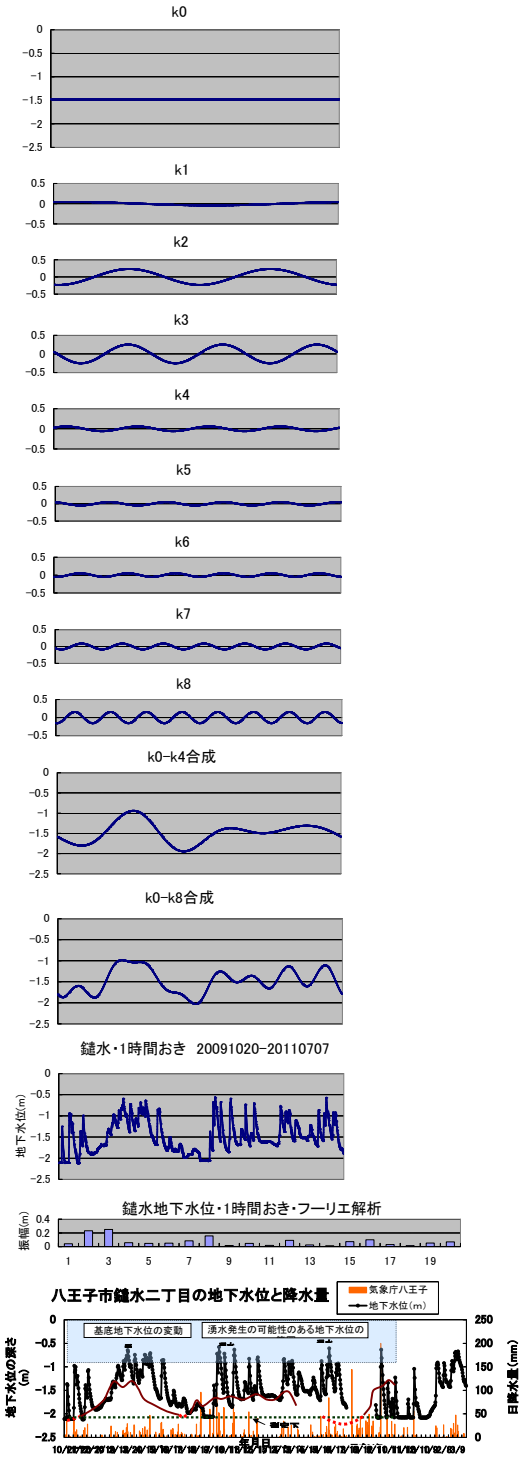


図-9　欠測部分を取り込んだ 21384 時間分、2.44 年分のフーリエ解析



図－10　欠測になるまでの 15000 時間分、1.71 年分のフーリエ解析

表－1　次数と時間

	データ数　21384					データ数　15000			
	振幅(m)	時間	日	年		振幅(m)	時間	日	年
1次	0.151	21,348	889.5	2.437	1次	0.043	15,000	625.0	1.712
2次	0.209	10,674	444.8	1.218	2次	0.232	7,500	312.5	0.856
3次	0.136	5,337	222.4	0.609	3次	0.251	3,750	156.3	0.428
4次	0.213	2,669	111.2	0.305	4次	0.058	1,875	78.1	0.214
5次	0.184	1,334	55.6	0.152	5次	0.048	938	39.1	0.107
6次	0.094	667	27.8	0.076	6次	0.051	469	19.5	0.054
7次	0.118	334	13.9	0.038	7次	0.086	234	9.8	0.027
8次	0.086	167	6.9	0.019	8次	0.156	117	4.9	0.013

パソコンで計算した。高速フーリエ変換に頼らず、有限フーリエ解析で数ヶ月のデバックの後、6 年前のパソコンでもわずか数分で計算できた。1 時間おきにデータを抽出したのは、21384 個のデータでは、Program にエラーはなくとも、実行時にエラーが出てしまうため、1 時間おきでデータ数を半分に落としたら計算できた。毎時の入力データを text ファイルで読込み、計算で１時間おきに直し、A，B係数を text ファイルで出力した。

④ 出力したA，B係数の text ファイルを、Excel に変換し、Excel で、主要な周期の係数から、データを再合成し、グラフ化も Excel で行った。主要な周期の係数は １－４次と１－８ 次で合成した。

⑤**表-1** で、次数と周期を見ると、365 日(1 年)とかのはっきりとした周期は現れなかった。データ数が 365 日のちょうど倍数でなかったことにもよると考えられる。

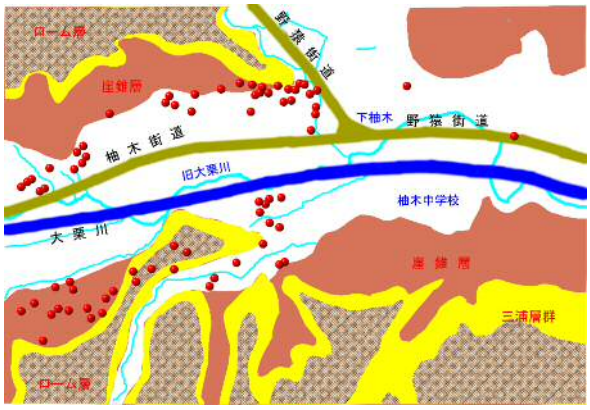
⑥ フーリエ解析の結果を**図－9**、**10** で見るように、４次程度や８次程度で、再合成しても、大きな流れは再現できている。

4. まとめと考察

おわりに、この地域での地下水調査事例を探していたところ、かなり昔の事例であるが、過去 30 数年前に当地域近くで広く地下水調査が実施されているのがわかり、当地域の地下水特性を考える上で大いに参考となるため紹介することにした。

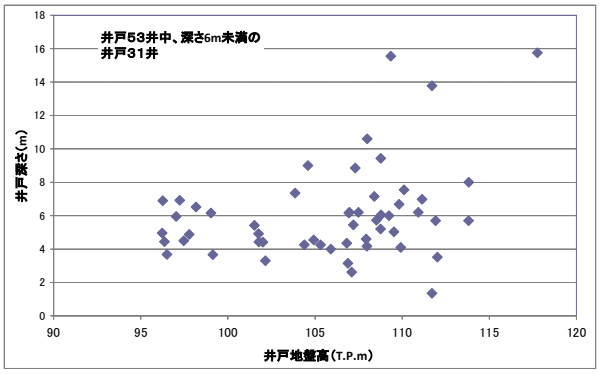
(1) 過去の地下水調査報告書から検証

報告書は昭和 53 年度と翌 54 年度に八王子市柚木地区で行われた大栗川改修に伴う地下水調査である[9)]。

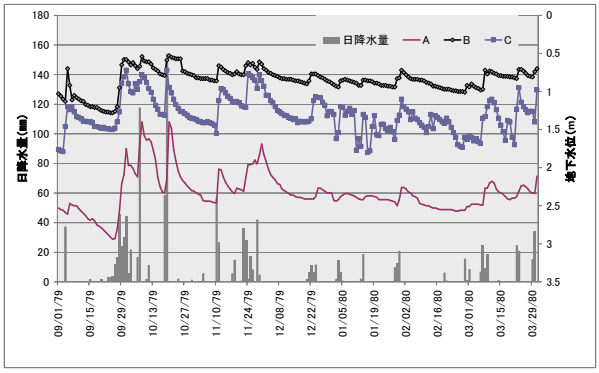


図－11 八王子柚木地区の地形と井戸分布 (1979 年)

沖積層と丘陵地の洪積層の境界、丘陵の麓には崖錐層（丘陵の裾の斜面と思うが、本文では報告書記載のとおりとする）による傾斜地が分布し、そこに集落が発達、多くの浅井戸が分布していた。今では想像もつかないが当時は公共水道施設が未普及のため、この地域では生活用水をすべて地下水に依存していた。井戸調査には、194 の井戸があり、168 井が飲用水、3 井が雑用、23 井が不使用であったと記述されている。**図－11** は昭和 54 年度の柚木地区の地形と井戸分布図である。中央に大栗川とその支流が蛇行して流れ谷戸を形成、丘陵の裾、崖錐部に多くの集落と井戸が分布する様子がわかる（図の中央を東西に走る太線は現在の大栗川河道)。また**図－12** は調査地域の井戸 53 井について、その地盤高と井戸深さを整理したものである。井戸は標高T.P.96mから117mの間の丘陵の麓および崖錐部に多く分布し、井戸深さ 6m未満の浅井戸が全体の約 6 割を占め、31 井であった。



図－12 井戸地盤高と井戸深さ（八王子市柚木）



図－13 浅井戸日水位変動図（八王子市柚木）

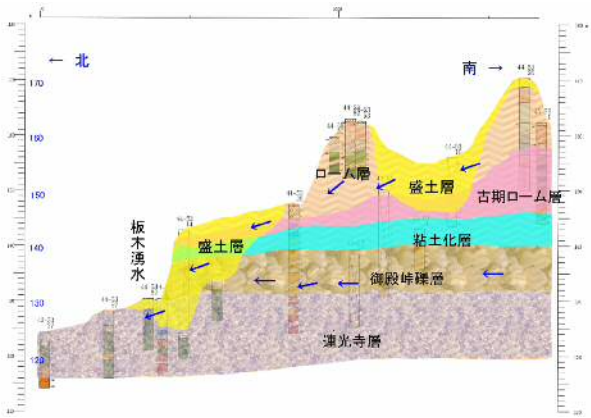
次に、**図－13** に 1979 年 9 月 1 日～1980 年 3 月 31 日まで 7 ヶ月間の自記水位計記録を 3 井分示す。井戸の深さは井戸 A が 4.50m、B が 4.96m、C は 8.0

mといずれも浅く、地下水位の変動幅は一番大きい井戸Aでも約1.5mと小さい。

また丘陵地の地下水利用と湧水分布については、場所は違うが過去、あきる野市、青梅市の草花丘陵で水文調査を行ったことがあり、民家の浅井戸・湧水が谷戸に集中して分布、井戸の深さも0.6～6.5mと全般に浅いことを報告した[10]。多摩丘陵、草花丘陵で浅い井戸が多く、谷戸に集中し地下水位変動幅も小さいといった事実は丘陵地での共通する地下水の特徴と考えられる。

(2) まとめ

写真－1　路面湧水状況（2010.9.29 撮影）



図－14　南北方向模式地質断面図

現地観測結果および過去の地下水調査報告書などから得られる当地域の地下水、路面湧水についての結論は次の通りである。

①丘陵地の裾部の地下水位は地表から浅く、水位変化応答も早い。年水位変動幅は台地などの地下水と較べて約1.5mと小さい。このことは30数年前に行われた地下水位調査報告書でも確認できた。ローム層が厚く堆積する武蔵野台地の浅層地下水の多くが地表から水位が深く（7～10数m）、年間水位変動幅も大きい特徴を持つのと対照的である[5]。

②降雨終了後10日も無降雨が続くと基底水位に達する。

③地下水位が何日前までの影響を一番受けているか調べると、約15日前までの累積降雨であった。武蔵野台地の野川流域の多くの井戸において3～5カ月前までの累積降雨が水位に影響を及ぼしていることを報告したが、これとは対照的である[5, 6]。

④鑓水の路面湧水については、地下水位が高い時期には少量の雨量でも出水し、低い時期にはより多い雨量で発生する。過去の観測結果から地下水位の状態と湧水発生時の累加雨量の関係を把握できた。地下水位のモニタリングが路面湧水の予測に有効であることがわかった。

⑤なお、切土・盛土により土地改変が進行している状況下の丘陵地では地下水の透水性が低下するが、表流水、地下水とも集まりやすい地形・地質（**図－14**　南北方向模式地質断面図）の基本構造は大きく変わっていないため、出水の完全な防止は困難である。地山の形態が残されている斜面には「板木湧水」などの湧水がまだ見られる（**写真－1**の歩道左側）。

5.　おわりに

本事例では地下水の年変動と湧水発生時の地下水位を把握するため最低でも1年の観測は必要であったが、結果的には約3年にわたる長期観測を行った。ただ難を言えば水位観測井があと1～2井複数あれば、水位変動特性をより詳細に明らかにできたかもしれないのが残念である。丘陵地の造成盛土地盤を対象とした地下水観測の事例は全国的にも少なく[11]、報告は今後の似たようなケースの際の参考になると思う。現地における実際の路面湧水状況は**写真－1**のとおりで、舗装面を薄層流で水が流れる状況がたびたび繰り返されていた（**写真－1**：多摩ニュータウン整備事務所提供、撮影日は雨がなかったが、その前日9月28日に84㎜、前々日の9月27日に64㎜の降雨を記録）。また厳寒期には路面が凍結するとのことで深刻な問題であった。現地では、その後対症療法的であるが排水性舗装やグレーチング蓋付きのU型集水溝などの排水対策工事が施工

された。
　最後に、水位観測等のモニタリングは当センターで継続して行ったが、調査にあたり全面的な支援と協力をいただいた都市整備局多摩ニュータウン整備事務所の関係者の方々に深く感謝すると同時に忌憚のないご意見を賜れば幸いです。

参　考　文　献

1) 壽圓晋吾（1988）：多摩丘陵西部の地質と地形的問題、立正大学文学部紀要第 4 号、p55-p74
2) 吉永秀一郎、武内和彦（1986）：多摩丘陵西部小流域の地質条件と斜面地形、東北地理
3) 東京都土木技術研究所（2006）：大規模宅地造成地の地盤改変図
4) 高橋裕、和泉清、安藤義久、金尾健司(1982)：丘陵地の中小河川流域の都市化に伴う洪水流出の変化、第 26 回水理講演会論文集、261-266
5) 國分邦紀、石原成幸、川合将文(2010)：野川上流域における主な湧水と地下水の水循環解析、平 22. 都土木技術支援・人材育成センター年報、143-148
6) 國分邦紀(2010)：野川上流域における湧水と地下水の水循環解析、第 23 回（2010 年度）水文・水資源学会研究発表会要旨集
7) 大崎順彦(1976)：地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会
8) 大崎順彦(1994)：新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会
9) 東京都南多摩新都市開発本部宅地造成事務所(1979, 1980)：大栗川地下水調査報告書
10) 國分邦紀、中山俊雄(1996)：秋留台地域の水文特性、平 8. 都土木技術研究所年報、95-106
11) 千葉　崇(2007)：降雨による谷埋め盛土斜面地盤内の水分変化モニタリングとその解析、東北大学工学部土木工学科卒業論文概要集